



Catarina Branco Barbosa Vicente

Licenciatura em Engenharia Geológica

**Potencial do Sienito Nefelínico de Monchique
para incorporação na indústria cerâmica**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Geológica Georrecursos

Orientador: Joaquim António dos Reis Silva Simão,
Professor Auxiliar, Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: António Carlos Galhano,
Assistente, Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Sofia Verónica Trindade Barbosa
Arguente: Prof. Doutor Ruben Sílvio Varela Santos Martins
Vogal: Prof. Doutor Joaquim António dos Reis Silva Simão



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2015

Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências da Terra

Catarina Branco Barbosa Vicente

Potencial do Sienito Nefelínico de Monchique para incorporação na indústria cerâmica

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Copyright

I. Agradecimentos

Ao Professor Joaquim Simão, por todo o apoio, disponibilidade demonstrada no esclarecimento de dúvidas e análise da matéria abordada. Um agradecimento especial pelas constantes palavras de incentivo acompanhadas de boa disposição.

Ao Professor Carlos Galhano, por todo o acompanhamento e permanente participação nas diferentes fases de investigação. Um especial agradecimento por todo o apoio e esclarecimento de dúvidas ao longo destes meses.

Ao Professor José António, pela sugestão do tema e disponibilidade demonstrada para apoiar a vertente prática desta dissertação.

Ao Professor Mauro Guerra, do Laboratório de Física Atómica e Molecular, do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia, por todo o empenho e prontidão na realização das análises químicas ao sienito nefelínico e da argila.

Aos meus pais, por todas as palavras de apoio e esforço constante ao longo destes anos. Sem vocês nada disto teria sido possível, muito obrigada.

Ao meu irmão, Tiago, pela paciência e contagiante boa disposição.

Ao Zé, por todo o companheirismo, palavras de apoio e, acima de tudo, por toda a paciência ao longo destes meses. Sem ti, tudo teria sido mais difícil. Obrigada.

A todos os meus amigos e colegas, em especial ao Gonçalo Gomes por ter sido uma enorme ajuda em campo. Obrigada Diana, Diogo, Inês, Rita e Laura por todo o apoio e disponibilidade manifestada ao longo deste percurso académico. Guardo com carinho a vossa amizade.

II. Resumo

A procura de novos materiais aumenta dia após dia, obrigando o Homem a procurar e encontrar novas soluções, tendo sempre como critério decisivo, uma exploração económica e ambiental sustentável.

É neste âmbito que surge o tema desta dissertação. O objetivo é tirar um maior proveito do sienito nefelínico de Monchique (Portugal), à semelhança de países como a Rússia, Canadá e Noruega, que utilizam esta rocha a nível industrial. Neste trabalho, a investigação foi no sentido de estudar o potencial da rocha portuguesa para a indústria cerâmica. O elevado teor de alumina e álcalis que o sienito nefelínico apresenta na sua constituição, serve de substituto aos minerais atualmente utilizados neste sector, os feldspatos isolados. A alumina serve de estabilizador, promovendo a durabilidade dos materiais pelo aumento da resistência e o conteúdo em álcalis funciona como fundente, diminuindo a temperatura de queima. Desta forma, o Maciço de Monchique ganha uma nova importância económica, sendo uma mais-valia para o país.

Para tal, elaboraram-se provetes cerâmicos constituídos por 0, 20, 40 e 60% em peso de sienito nefelínico em mistura com argila. Posteriormente, sujeitaram-se os provetes a três temperaturas diferentes, 900 °C, 1000 °C e 1100 °C e submeteram-se cada um deles a ensaios físicos e mecânicos, para determinar o potencial da incorporação do sienito de Monchique na indústria cerâmica.

Os resultados indicaram que a adição de sienito nefelínico melhora as propriedades físicas da argila. Relativamente às propriedades mecânicas, o ensaio de resistência à flexão indicou que, dos vários teores testados, o mais positivo encontra-se na percentagem de 20% de sienito nefelínico, apresentando valores próximos da argila pura utilizada como referência.

Palavras-Chave: sienito nefelínico, fundente, indústria cerâmica, alumina, álcalis

III. Abstract

The search for new materials increases day-by-day, forcing Mankind to reach for sustainable new solutions for the future.

It's in the light of this challenges that the subject of this dissertation arises. The goal it's to benefit more from the stone know as Nepheline Syenite of Monchique, like it's done in other countries such as Russia, Canada and Norway which use nepheline syenite in their industries. This work focus on studying the potential benefits from the use of the portuguese stone in the ceramic industry. The high content of alumina and alkalis that the nepheline syenite contains in its composition serves as a substitute to the minerals currently used in this sector, the isolated feldspars. The alumina serves as a stabilizer, which promotes the durability of materials by increasing their resistance, and the alkalis work as a fluxing agent, decreasing the firing temperatures. In this manner, the Massif of Monchique gains a new economic importance that is a plus for the country.

To test this, various specimens were arranged, constituted by 0, 20, 40 and 60% in percentage of nepheline syenite mixed with clay. After this, the specimens were subjected to three different temperatures, 900 °C, 1000 °C and 1100 °C and one of them was also subjected to a physical and mechanical tests to determine the potential to incorporate the nepheline syenite of Monchique in the ceramic industry.

The results pointed that the addition of nepheline syenite improves the physical properties of clay. Regarding the mechanical properties, the flexural strength test indicated that the composite material with 20% of nepheline syenite, showed values that are approximate to those of pure clay taken as a reference.

Key-words: nepheline syenite; fluxing agent; ceramic industry, alumina, alkalis

IV. Índice de Matérias

I. AGRADECIMENTOS	V
II.RESUMO	VII
III.ABSTRACT	IX
IV.ÍNDICE DE MATÉRIAS	XI
V.ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
VI.ÍNDICE DE TABELAS.....	XV
VII.LISTA DE ABREVIATURAS / SÍMBOLOS.....	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
2. ESTADO DE ARTE.....	5
2.1. AS ROCHAS ÍGNEAS E O SIENITO NEFELÍNICO – GENERALIDADES	5
2.2. UTILIZAÇÃO DO SIENITO NEFELÍNICO	12
2.2.1. Potencial Ornamental	12
2.2.2. Potencial para a Indústria	13
2.2.3. Potencial do Sienito Nefelínico de Monchique	19
2.2.4. Estudo de Mercado.....	20
3. CASO DE ESTUDO.....	23
3.1.ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO	23
3.2.ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E TECTÓNICO	24
3.3.CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA, PETROGRÁFICA E QUÍMICA.....	28
3.3.1.Descrição macroscópica e microscópica	28
3.3.2.Análise química.....	32
4. METODOLOGIA	35
4.1.TRABALHO DE LABORATÓRIO	37
4.1.1.Descrição dos ensaios efetuados	43
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
8. ANEXOS	63
ANEXO 1 – LIMITES DE LIQUIDEZ.....	63
Anexo 1.a – Incorporação de 60% Sienito Nefelínico de Monchique.....	63
Anexo 1.b – Incorporação de 40% Sienito Nefelínico de Monchique.....	63
Anexo 1.c – Incorporação de 20% Sienito Nefelínico de Monchique	64
ANEXO 2 – PROVETES COZIDOS A 900 °C.....	65
Anexo 2.a – Incorporação de 60% de Sienito Nefelínico de Monchique	65
Anexo 2.b – Incorporação de 40% de Sienito Nefelínico de Monchique	66
Anexo 2.c – Incorporação de 20% de Sienito Nefelínico de Monchique	67
Anexo 2.d – Incorporação de 100% Argila	68
ANEXO 3 – PROVETES COZIDOS A 1000 °C.....	69
Anexo 3.a – Incorporação de 60% de Sienito Nefelínico de Monchique	69
Anexo 3.b – Incorporação de 40% de Sienito Nefelínico de Monchique	70
Anexo 3.c – Incorporação de 20% de Sienito Nefelínico de Monchique	71
Anexo 3.d – Incorporação de 100% Argila	72

ANEXO 4 – PROVETES COZIDOS A 1100 °C	73
Anexo 4.a – Incorporação de 60% de Sienito Nefelínico de Monchique	73
Anexo 4.b – Incorporação de 40% de Sienito Nefelínico de Monchique	74
Anexo 4.c – Incorporação de 20% de Sienito Nefelínico de Monchique	75
Anexo 4.d – Incorporação de 100% Argila	76

V. Índice de Figuras

Figura 2.1 – Campos ocupados pelas séries toleíticas e calco-alcalinas das rochas plutónicas no diagrama triangular (retirado de Carvalho, 2002).	7
Figura 2.2 - Produtores de sienito nefelínico no mundo (adaptado de McLemore, 2006).	11
Figura 2.3 – Exportações em Portugal no ano de 2014.	20
Figura 2.4 – Importações em Portugal no ano de 2014.	20
Figura 2.5 – Comparação dos dados referentes às exportações da UN Comtrade e DGEG para o sienito nefelínico.	21
Figura 2.6 – Comparação dos dados referentes às importações da UN Comtrade e DGEG para o sienito nefelínico.	22
Figura 2.7 – Tokyo City Hall Complex (fonte: http://static.planetminecraft.com/files/resource_media/screenshot/1328/Tokyo-City-Hall-PMC-Contest-PvM1_5908595.jpg).	22
Figura 3.1 – À esquerda mapa de Portugal Continental; à direita ampliação da região de Monchique com a respetiva localização do local de recolha das amostras (Fonte: https://www.google.pt/maps/@37.3251925,-8.5168944,8470m/data=!3m1!1e3).	23
Figura 3.2 – Mapa geológico do complexo alcalino de Monchique (retirado de González-Clavijo & Valadares, 2003a).	27
Figura 3.3 – Aspeto macroscópico do sienito nefelínico de Monchique (fotografia de J.Simão).	28
Figura 3.4 – Microfotografias do sienito nefelínico de Monchique, à esquerda nicóis paralelos, à direita nicóis cruzados. Legenda: FK (feldspato potássico), Ne (nefelina), Ae-Au (aegirina-augite), Esf (esfena), Bt (biotite), Opac. (minerais opacos).	30
Figura 3.5 – Diagrama da composição mineralógica da argila (retirado de Sena da Fonseca, Galhano & Seixas, 2015).	31
Figura 4.1 – Fluxograma do procedimento laboratorial.	36
Figura 4.2 – Representação gráfica do teor em água Vs número de golpes da amostra com 60% de sienito nefelínico.	38
Figura 4.3 – Representação gráfica do teor em água Vs número de golpes da amostra com 40% de sienito nefelínico.	39
Figura 4.4 - Representação gráfica do teor em água Vs número de golpes da amostra com 20% de sienito nefelínico.	40
Figura 4.5 – Carta de plasticidade de Casagrande (adaptado de González de Vallejo <i>et al.</i> (2002)).	42
Figura 4.6 – Domínios de Gippini (adapatdo de Sena da Fonseca <i>et al.</i> , 2014).	42
Figura 4.7 – Prensa para realização do ensaio resistência à flexão sob carga centrada.	44

Figura 4.8 – Em cima, aspecto exterior da câmara de nevoeiro salino; em baixo provetes cerâmicos no interior da câmara.....	44
Figura 4.9 – Diagrama do sólido de cor no espaço $L^* a^* b^*$ (retirado de Machado <i>et al.</i> , 1997).	45
Figura 4.10 – Plano de tonalidades (retirado de Machado <i>et al.</i> , 1997).....	46
Figura 5.1 – Retração dos provetes cerâmicos em função da temperatura de queima.	47
Figura 5.2 – Massa percentual perdida em função da temperatura de queima.	48
Figura 5.3 – Evolução da porosidade aberta em função da temperatura de queima.	49
Figura 5.4 – Evolução da absorção de água em função da temperatura de queima.	50
Figura 5.5 – Massa volúmica aparente dos provetes cerâmicos em função da temperatura de queima.	50
Figura 5.6 – Evolução da resistência à flexão em função da temperatura de queima.	52
Figura 5.7 – Luminosidade e tonalidade dos provetes cerâmicos nas três temperaturas estudadas.	53

VI. Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Composição mineralógica do sienito nefelínico de Monchique segundo vários autores ao longo dos anos.....	8
Tabela 2.2 – Composição química do sienito nefelínico de Monchique segundo vários autores ao longo dos anos.	9
Tabela 2.3 - Contributo percentual do sienito nefelínico e feldspatos nos produtos cerâmicos (retirado de Sampaio e França, 2005, adaptado Kauffman e Dyk, 1994).	15
Tabela 3.1 – Composição química do sienito nefelínico de Monchique (retirado de Simão, 2003).	32
Tabela 3.2 – Composição química do sienito nefelínico em função do país de origem (adaptado McLemore, 2006; Simão, 2003).....	33
Tabela 3.3 – Composição química da argila (retirado de Sena da Fonseca <i>et al.</i> , 2014).	34
Tabela 4.1 – Planeamento laboratorial inicial.	37
Tabela 4.2 – Cálculo do limite de plasticidade para mistura com 60% sienito nefelínico.	39
Tabela 4.3 - Cálculo do limite de plasticidade para mistura com 40% sienito nefelínico.....	40
Tabela 4.4 - Cálculo do limite de plasticidade para mistura com 20% sienito nefelínico.....	41
Tabela 5.1 – Resultados do ensaio colorimetria, sistema CIELAB.....	53

VII. Lista de Abreviaturas / Símbolos

A_b – Absorção de água

adapt. – adaptado

Ae – aegirina

Ae-Au – aegirina-augite

alt. - altura

Bt - Biotite

CIE – Comissão Internationale d’Éclairage

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

Esf - Esfena

Felds. – Feldspato

FK – Feldspato Potássico

Húm. - húmida

I.G.M. – Instituto Geológico e Mineiro

IP – Índice de plasticidade

larg. - largura

LL – Limite de liquidez

LP – Limite de plasticidade

Min. – Minerais

$M_{Hidrost.}$ – Massa hidrostática

M_{Sat} – Massa saturada

M_{Seca} - Massa seca

Ne – nefelina

Opac.- Minerais opacos

Ornam. – Ornamentais

p_0 – Porosidade aberta

prof. - profundidade

R^2 – Coeficiente de correlação

SN – Sienito nefelínico

UN Comtrade – United Nations Commodity Trade Statistics Database

ρ_b – Massa volúmica aparente

ρ_{h2O} – Massa volúmica da água

1. Introdução

O sienito nefelínico é uma rocha ígnea, de origem plutónica, textura fanerítica e tonalidade acinzentada. Mundialmente os principais depósitos desta rocha localizam-se na Rússia, Canadá e Noruega. Enquanto o primeiro país aproveita esta rocha para a produção de cimento *Portland*, produção de alumínio e compostos alcalinos, o Canadá e a Noruega utilizam o sienito para beneficiamento da indústria do vidro e cerâmica.

Em Portugal o sienito nefelínico existe apenas na região de Monchique, sendo essencialmente utilizado como rocha ornamental, devido ao aspeto estético e às suas boas características físico-mecânicas.

A sustentabilidade ambiental é cada vez mais, nos dias de hoje, um fator determinante na manufatura dos produtos. É nesta vertente que surge o tema desta dissertação. O sienito nefelínico por ser rico em nefelina (feldspatóide) e feldspatos potássicos é uma boa fonte de alumina e álcalis, componentes essenciais na indústria, sobretudo do vidro e cerâmica. A elevada percentagem de nefelina (aluminossilicato de sódio), resulta quimicamente num elevado teor de alumina, tornando-se um excelente substituto dos feldspatos, minerais comumente utilizados nestas indústrias, por apresentarem valores altos de alumina e de sódio e/ou potássio. Além disso, o elevado teor de álcalis do sienito nefelínico, melhora a capacidade fundente, baixando a temperatura de fusão das misturas e reduz a quantidade de carbonato de sódio a ser adicionado. Consequentemente ocorre uma redução de custos de produção e emissão de gases, refletindo-se quer em vantagens económicas quer ambientais.

O objetivo desta dissertação consiste numa tentativa de aproveitamento do sienito nefelínico de Monchique, aumentando as suas aplicações industriais, uma vez que até ao momento a sua principal aplicação é a nível ornamental. O sector ornamental produz uma enorme quantidade de rejeitados que, deste modo, podem vir a ser aproveitados industrialmente contribuindo também para uma minimização do impacto ambiental.

A investigação laboratorial focou-se, somente, ao nível da indústria cerâmica, tendo sido possível preparar os diferentes materiais de forma aceitável e próxima da realidade nos laboratórios do Departamento de Ciências da Terra, da Faculdade de Ciências e Tecnologia.

A primeira fase da investigação focou-se na recolha em campo de amostras de sienito nefelínico. Foram recolhidos três blocos com as seguintes dimensões (alt. x larg. x prof.): 48x35x23 (cm), 29x25x13 (cm), 24x17x17 (cm). De seguida, com uma rebarbadora, cortou-se os blocos em dimensões mais pequenas, para que fosse possível com uma caroteadora obter amostras frescas, sem alteração.

Após a obtenção das carotes, utilizou-se um martelo para partir em menores dimensões as carotes, para posteriormente utilizar um britador de maxilas, marca *Retsch*, reduzindo ainda mais a sua dimensão, permitindo assim a moagem num moinho de anéis, marca *Fritsch*. Como resultado final obteve-se uma granulometria inferior a 63 µm.

De seguida, no moinho de anéis, efetuou-se a moagem da argila, obtendo-se também uma granulometria inferior a 63 µm. A argila utilizada encontrava-se húmida, pelo que foi “despedaçada” em várias partes e, seca em estufa (marca *Memmert 100/800*), a 60 °C durante 48h, antes da moagem.

Posteriormente, iniciou-se efetivamente o trabalho laboratorial. Começou-se por calcular os limites de *Atterberg* para cada um dos teores investigados: 60%, 40%, 20% em peso de sienito nefelínico. Desta forma, garantiu-se o máximo de rigor possível no que diz respeito à quantidade de água necessária adicionar nas diferentes misturas, constituídas por sienito nefelínico e argila, sem ultrapassar os limites de consistência.

Efetuaram-se 45 provetes de cada uma das misturas e 15 somente constituídos por argila. Os provetes cerâmicos obtêm-se através da formulação da pasta, através da adição de água destilada. Quando a pasta apresenta a consistência ideal, nem muito húmida, nem muito seca, é colocada manualmente com recurso a uma espátula num molde de gesso e, prensada até uma força aproximada de 200 kg.

Todos os provetes foram marcados com 10 cm para verificar a retração linear após a queima, tendo sido também pesados antes da queima, para calcular eventuais perdas de massa.

Do total de 150 provetes, realizaram-se três fornadas diferentes (marca do forno *Nabertherm B130*), sujeitas a três diferentes temperaturas: 900 °C, 1000 °C e 1100 °C. Para cada uma destas três temperaturas sujeitaram-se 15 provetes de cada mistura e 5 de argila.

Por último, efetuaram-se ensaios físicos e mecânicos para estudar o potencial uso desta matéria-prima portuguesa na indústria cerâmica.

Os ensaios físicos consistiram no cálculo da porosidade aberta, absorção de água e massa volúmica aparente. O ensaio mecânico realizado foi o ensaio de resistência à flexão sob carga centrada e, realizou-se também o ensaio de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino.

Para este último ensaio utilizou-se um exemplar de 15 provetes, de cada uma das misturas, correspondendo a 5 provetes de cada temperatura testada, perfazendo um total de 45 provetes. Dado o enorme período temporal que estas amostras devem estar sujeitas a ciclos de nevoeiro, não foi possível concluir o ensaio a tempo da informação ser incluída neste trabalho.

Os resultados permitiram concluir que a incorporação do sienito nefelínico de Monchique em pastas é uma alternativa aos minerais atualmente utilizados na indústria cerâmica, os feldspatos isolados. Os resultados obtidos para avaliação das propriedades físicas, demonstraram uma melhoria significativa com o aumento da incorporação do sienito nefelínico de Monchique. O ensaio de resistência à flexão sob carga centrada refletiu uma ligeira melhoria, a 900 °C e 1100°C, para uma incorporação de 20% de sienito nefelínico de Monchique.

Considera-se que este tipo de ensaios são importantes, pois permitem antever o comportamento que os materiais podem vir a desempenhar nos diferentes tipos de aplicações possíveis. O ensaio de resistência à flexão sob carga centrada é essencial para avaliar o comportamento dos materiais quando sujeitos a esforços de flexão, como é o caso de aplicações em degraus, bancadas ou mesmo no revestimento de fachadas de prédios. Por outro lado, o ensaio de absorção de água é um índice decisivo quando se pretende escolher um material em que a sua utilização envolva contacto com a água. Os ensaios utilizados nesta investigação tiveram como principal objetivo analisar o comportamento dos corpos cerâmicos, tendo como principal preocupação as potenciais utilizações cerâmicas destes no dia-a-dia.

O Maciço de Monchique ganha assim uma nova importância económica, sendo uma mais-valia para o país.

2. Estado de Arte

2.1. As Rochas Ígneas e o Sienito Nefelínico – Generalidades

Consoante o modo de formação, as rochas podem agrupar-se em três grupos principais: rochas sedimentares, rochas ígneas e rochas metamórficas. As primeiras são formadas à superfície da Terra através da acumulação de produtos que resultam da desagregação de rochas preexistentes, de restos de seres vivos, ou mesmo por precipitação química. As rochas ígneas resultam do arrefecimento do magma e, por último, as rochas metamórficas resultam de rochas preexistentes, sujeitas a agentes de metamorfismo (pressão e temperaturas elevadas), originando modificações texturais e recristalizações (Botelho da Costa, 2008; Hall, 1996).

O sienito nefelínico insere-se nas rochas ígneas ou magmáticas. As rochas ígneas podem ser subdivididas em três grupos fundamentais, tendo em consideração a sua origem, são eles: rochas extrusivas/vulcânicas, hipabissais e rochas intrusivas/plutónicas. Enquanto as primeiras ocorrem quando o magma atinge o exterior, as rochas de origem hipabissal resultam de injeções de magma próximo da superfície. Por outro lado, as rochas intrusivas, subgrupo a que pertence o sienito nefelínico, ocorrem quando o magma arrefece e solidifica ainda dentro da crosta terrestre (Botelho da Costa, 2008; Hall, 1996; Hess, 1989).

Para além da origem, também a textura e composição química são critérios que permitem definir a rocha.

Relativamente ao padrão textural, este depende principalmente da velocidade de arrefecimento do respetivo magma, da sua viscosidade e da sua composição química. Para as rochas plutónicas, no caso do arrefecimento ser muito lento, os componentes químicos do magma dispõem de tempo suficiente para se organizarem em entidades individualizadas, ou fases sólidas minerais, separadamente, em tempos diferentes e por afinidades químicas. Os minerais bem delimitados e separados uns dos outros, quando observados à vista desarmada, podem apresentar um carácter mais fino ou mais grosseiro, conferindo à rocha uma textura microfanerítica ou fanerítica, respetivamente. Um caso particular deste tipo de textura mais grosseira é a textura porfiróide, que consiste na ocorrência de megacristais, frequentemente de feldspato, que sobressaem no seio da matriz granular (Carvalho, 2002).

As rochas de origem vulcânica apresentam geralmente textura afanítica que pode conter, ou não, fenocristais de minerais como a olivina (textura porfírica). A matriz rochosa das rochas com textura afanítica apresenta grãos tão pequenos, que não é possível distingui-los uns dos outros. Por outro lado, quando o arrefecimento do magma é extremamente rápido, diz-se que estas rochas apresentam textura vítrea, ou seja, são predominantemente constituídas por matéria vítrea (Carvalho, 2002; Botelho da Costa, 2008).

Quanto às rochas hipabissais, o aspeto textural que melhor as caracteriza é a dimensão dos cristais, intermédia entre os das rochas plutónicas e os das vulcânicas, dando assim origem a uma textura microfanerítica (Carvalho, 2002).

A saturação em sílica é também um conceito a ter em consideração quando se estuda rochas magmáticas. Estas podem ser sobressaturadas, ou ácidas, quando a percentagem de sílica é superior a 63%, saturadas, ou intermédias, quando a percentagem de sílica varia entre 52% e 63%, subssaturadas, ou básicas, com uma percentagem de sílica variável entre 45% e 52% como é o caso dos sienitos nefelínicos, que como o próprio nome indica apresentam nefelina na sua constituição, mineral este proveniente de magmas deficientes em SiO_2 e, por último, ultrabásicas quando a percentagem de $\text{SiO}_2 < 45\%$ (ver figura 2.1). A percentagem de sílica constitui um dos principais critérios químicos de classificação das rochas ígneas, denominado critério de acidez (Carvalho, 2002).

Ao falar de rochas ígneas, e em especial do sienito nefelínico, torna-se também essencial compreender o conceito de alcalinidade. Esta indica a presença de feldspatos sódicos e/ou potássicos, ou de feldspatóides também eles ricos nestes dois elementos (Klein & Hurlbut, 1998). Existem dois tipos de abordagem: a riqueza em álcalis tendo por base a comparação à sílica, neste caso o excesso de álcalis conduz ao desenvolvimento de feldspatóides, ou por outro lado, a comparação é feita relativamente à alumina, em que o excesso de álcalis conduz ao desenvolvimento de piroxenas e/ou anfíbolas sódicas. Nesta última abordagem as rochas podem ser divididas em peralcalinas, quando $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3$, e aluminosas, na situação inversa (Carvalho, 2002). A presença e abundância de minerais alcalinos constitui outro critério de classificação de rochas ígneas, designado critério de alcalinidade.

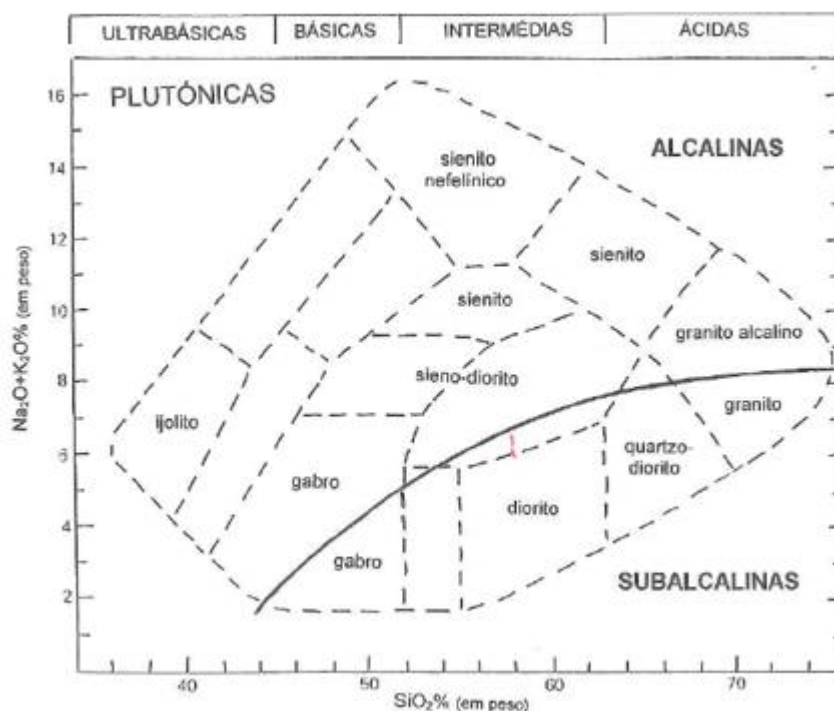


Figura 2.1 – Campos ocupados pelas séries toleíticas e calco-alcalinas das rochas plutônicas no diagrama triangular (retirado de Carvalho, 2002).

A composição mineralógica e química do sienito nefelínico de Monchique tem sido estudada ao longo dos anos por diversos autores. Como minerais essenciais, de uma forma geral, apresenta o feldspato potássico (ortoclase, microclina) e/ou sódico (albite), nefelina, aegirina-augite e esfena. Já os minerais acessórios variam em menores percentagens, nomeadamente, biotite, hornblenda, magnetite, piroxena, moscovite, sodalite, apatite, zircão, ilmenite, granada, calcite, pirite e zeólitos (Alves & Gomes, 2010; Negm *et al.*, 2000; Velho, 2005).

Uma das particularidades do sienito nefelínico é a ausência de quartzo na sua composição, consequência do ambiente deficitário em sílica em que esta rocha se forma. Importa ainda referir a semelhança química existente entre os feldspatóides e os feldspatos, predominando a diferença no facto dos primeiros resultarem do arrefecimento e cristalização de magmas deficitários em sílica. Relativamente à composição química, a sílica, alumina, álcalis e óxidos de ferro, são os principais constituintes.

As tabelas 2.1 e 2.2 que se seguem apresentam a composição mineralógica e química do sienito nefelínico, respetivamente, segundo vários autores ao longo dos anos.

Tabela 2.1 – Composição mineralógica do sienito nefelínico de Monchique segundo vários autores ao longo dos anos.

Autores	Composição Mineralógica			
	Essenciais		Acessórios	
Coelho (1965)	Felds. K (ortoclase) Plagioclase Ne & Sodalite Ae	33% 26% 28% 8%	Wollastonite Ilmenite e outros óxidos de ferro	3% 1%
Ramos, Moura & Grade (1990)	Felds. K Ne Ae & Ae-Au	46% 20% 12%	Biotite Esfena Outros	8% 8% 6%
Moura (2000)	Felds. K Ne Ae & Ae-Au Biotite Esfena	46% 20% 12% 8% 8%	Apatite Calcite Cancrinite Min.Opacos	 6%
Simão (2003)	Felds. K (ortoclase caulinizada) Ne Ae-Au Esfena Biotite	45% 22% 10% 8% 6%	Sodalite Horneblenda Apatite Rútilo Zircão Min.Opacos Magnetite Pirite	 7%
Velho (2005)	Felds.K Plagioclase Ne	-- -- --	Biotite Horneblenda Magnetite Zircão Granada Moscovite Apatite	-- -- -- -- -- -- --
Botelho da Costa (2008)	Felds. K (ortoclase pertítica & microclina) Ne Piroxena Anfíbola	-- -- -- --	Sodalite	--

Tabela 2.2 – Composição química do sienito nefelínico de Monchique segundo vários autores ao longo dos anos.

Autores	Composição Química										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (total)	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O
Coelho (1965)	55,87%	20,56%	3,28%	0,17%	1,45%	--	10,75%	5,55%	0,36%	--	--
Velho (2005) adapt.Guillet (1994)	55,22%	22,59%	2,31%	0,13%	2,12%	0,28%	8,76%	5,59%	0,59%	--	2,16%
Botelho da Costa (2002)	57,20%	23,50%	2,30%	--	1,00%	0,30%	9,80%	4,80%	--	--	0,90%
Galopim de Carvalho (2002)	55,23%	21,20%	4,66	--	1,92%	0,52%	9,24%	5,03%	0,65%	0,16%	0,89%
Simão (2003)	53,93%	21,11%	3,40%	0,08%	1,89%	0,38%	9,27%	6,32%	0,88%	--	--
Ramos, Moura & Grade (1990) Moura (2000) adapt. I.G.M	54,44%	21,64%	3,56%	0,07%	1,78%	0,47%	8,52%	6,78%	0,18%	0,07%	1,65%

Ao observar a tabela 2.2, nomeadamente a percentagem de SiO_2 , pode-se concluir que o sienito nefelínico pertence ao grupo de rochas ígneas intermédias (SiO_2 de 52 a 63%). Em Moura (2000), o autor afirma que tanto neste grupo de rochas como nas rochas básicas ($\text{SiO}_2 < 52\%$), verifica-se uma predominância de plagioclase sobre os outros minerais, o que não se verifica no sienito nefelínico de Monchique, como observado na tabela 2.2. Afirma ainda a existência de um decréscimo dos teores de quartzo (inexistente no caso do sienito nefelínico) e de feldspatos alcalinos à medida que o carácter básico aumenta, e presença significativa de anfíbolos e/ou piroxenas, biotite e/ou olivina, além da apatite, esfena, serpentina, clorite, talco e minerais opacos que também estão presentes nesta rocha (ver tabela 2.1).

São diversas as formas de ocorrência do sienito nefelínico, das quais se destacam as seguintes: rochas feldspatóidicas associadas a rochas vulcânicas subssaturadas; rochas intrusivas estratificadas; complexos anelares; gnaisses nefelinizados, normalmente associados a pegmatitos nefelínicos (Velho, 2005).

Em Portugal esta rocha aflora apenas a NW do algarve, na região superior da serra de Monchique. O maciço apresenta uma forma elíptica, com aproximadamente 15 km de comprimento e 6 km de largura, tendo-se intruído nos xistos e grauvaques do Moscoviano e Dinanciano que metamorfiza (Velho, 2005).

A nível mundial são vários os depósitos desta rocha ígnea. Apresenta-se especial destaque para Khibiny Complex, Rússia, com 40 km de diâmetro e uma composição mineralógica complexa. Este depósito tem uma capacidade anual de produção de 1 500 000 t de sienito nefelínico (Levine and Wallace, 2000 *in* McLemore, 2006) e tem sido explorado para vários fins, nomeadamente: extração de alumínio, produção de cimento Portland e compostos alcalinos. É ainda de salientar a elevada contribuição para a indústria, de países como o Canadá que fornece anualmente 570 000 t e da Noruega com reservas estimadas em mais de 300 Mt e uma produção aproximada de 340 000 t (Negm *et al.*, 2000; Velho, 2005; McLemore, 2006).

Segundo Gulsoy (1993) *in* Negm *et al.* (2000), as reservas de sienito nefelínico na Turquia estão estimadas em mais de 1000 Mt de toneladas e, para McLemore (2006), o depósito de Uludag neste mesmo país apresenta reservas estimadas em mais de 40 Mt, possibilitando assim uma forte aposta na exploração desta rocha.

Devido às suas propriedades químicas muito especiais, países como o Brasil, China, Arábia Saudita e Portugal, têm demonstrado muito interesse no aproveitamento do sienito nefelínico para além de rocha ornamental, tirando assim um maior partido das reservas disponíveis (Velho, 2005).



Figura 2.2 - Produtores de sienito nefelínico no mundo (adaptado de McLemore, 2006).

2.2. Utilização do Sienito Nefelínico

As aplicações do sienito nefelínico podem seguir tanto a vertente ornamental, com variadas aplicações a nível exterior, interior e mesmo em mobiliário urbano (Moura, 2000; Moura & Velho, 2011), como a vertente industrial, nomeadamente, cerâmica, vidro, extração de alumínio, carga e pigmento mineral e produção de cimento *Portland*.

2.2.1. Potencial Ornamental

Até ao momento a principal utilização do sienito nefelínico de Monchique tem sido a extração de blocos para uso ornamental, dada a beleza particular desta rocha e boas características físico-mecânicas.

A originalidade da tonalidade e textura, das rochas graníticas e afins, são características definidoras do padrão ornamental, especialmente quando polidas, pois condicionam o aspeto final em obra. A tonalidade das rochas varia consoante o tipo de minerais que as compõem, tornando-as mais claras ou mais escuras, consoante a percentagem relativa de quartzo e feldspato, *versus* minerais ferromagnesianos. Assim sendo, enquanto as rochas ígneas de carácter ácido exibem tonalidades mais claras, as rochas intermédias a básicas apresentam tonalidade mais escura (Moura, 2000).

Apesar do sienito nefelínico de Monchique, comercializado também sob a designação “Cinzento Monchique”, ser relativamente pouco aplicado em Portugal, Monchique e o Algarve retiram o maior partido do afloramento desta rocha na sua região, com um padrão tão particular, utilizando-o desde bancos de rua, a canteiros e pedras de calçada. Desta forma, a localidade alia o útil ao agradável, evitando gastos desnecessários no transporte de pedra proveniente de outras regiões e, dando a Monchique uma estética pouco comum. Os maiores clientes da pedreira de sienito nefelínico em Monchique são os Estados Unidos da América e a China.

Esta rocha possibilita aplicações tanto a nível de exteriores como de interiores, não sendo a sua aplicação aconselhada a locais sujeitos a agressão química, nomeadamente exteriores sujeitos a chuvas ácidas, ou a nível interior alvo de produtos de limpeza concentrados e agressivos, capaz de diminuir o polimento dado à rocha (Ramos *et al.*, 1990). Simão (2003), baseando-se em ensaios laboratoriais, refere que a utilização de sienito nefelínico em fachadas exteriores de edifícios sujeitos a ambientes poluídos agressivos, não é aconselhável, pois a fácil alterabilidade da nefelina, conduz a uma rápida degradação da rocha afetando assim a sua durabilidade.

Uma das particularidades do sienito nefelínico é a presença de feldspatóides na sua composição, essencialmente nefelina $((\text{Na,K})\text{AlSiO}_4)$, mas, podendo encontrar-se outros como a leucite $(\text{KAlSi}_2\text{O}_6)$ ou mesmo a sodalite $(\text{Na}_8(\text{AlSi}_2\text{O}_4)\text{Cl}_2)$. Os feldspatóides quando sujeitos a ambientes de alteração tornam-se instáveis, hidrolisando em água destilada (Loughnan, 1969) e gelatinizando (Carrol, 1970; Silva & Simão, 1998). Assim, conclui-se que a aplicação do sienito nefelínico como rocha ornamental em exteriores, deve ser controlada mediante o ambiente a que esta vai estar exposta.

2.2.2. Potencial para a Indústria

Tanto a nível mundial como em Portugal existem dificuldades no abastecimento de matérias-primas feldspáticas, sendo portanto essencial a descoberta de novos depósitos ricos em feldspatos ou estudos de viabilidade económica de depósitos já conhecidos como é o caso do Maciço de Monchique, rico em sienito nefelínico, permitindo assim a exploração dos feldspatóides, minerais quimicamente semelhantes aos feldspatos alcalinos.

Para além das aplicações na indústria da cerâmica, vidro e como fonte de alumínio, o sienito nefelínico apresenta ainda um conjunto de propriedades que permite a sua utilização como carga e pigmento mineral, nomeadamente tintas, plásticos, borracha, colas e vedantes, sendo ainda utilizado na construção civil, nomeadamente agregados finos para preenchimento (fillers) e produção de cimento *Portland* através da recuperação dos carbonatos de sódio e potássio, cujo resíduo é utilizado na produção do cimento (Kendall, 1993; Negm *et al.*, 2000; Sampaio & França, 2005; Velho, 2005).

Em Monchique o principal objetivo tem sido, até aos dias de hoje, a produção de blocos de rocha ornamental para exportação. Por outro lado, existe uma preocupação em rentabilizar ao máximo a rocha extraída e, desta forma, a rocha de menor qualidade é aproveitada para pedras de calçada, muros e outros elementos decorativos. Uma parte do sienito nefelínico desperdício é ainda aproveitado para a indústria de produção de vidro, através da extração da sílica presente na rocha, contudo esta iniciativa é uma minoria na comercialização do sienito nefelínico de Monchique, podendo no futuro e com o investimento necessário vir a contribuir de forma significativa para a economia do país (Rodrigues, 2014).

Na indústria cerâmica o sienito nefelínico apresenta aplicações tanto ao nível de louças sanitárias como de mesa, azulejos, mosaicos e porcelanas para fins químicos, odontológicos e elétricos (Andrade *et al.*, 2005; Velho, 2005).

Segundo os mesmos autores a sua característica principal é a baixa temperatura de fusão e a elevada capacidade de fluxo, ou seja, baixa viscosidade, facto este que permite ao sienito atuar como agente de vitrificação ajudando na formação de uma fase vítrea que une outros constituintes da mistura. Deste modo é possível diminuir tanto o conteúdo de fluxo no corpo cerâmico, como a temperatura e o tempo de queima (Negm *et al.*, 2000; Andrade *et al.*, 2005; Sampaio & França, 2005).

Consoante a finalidade do produto a ser obtido, na indústria cerâmica, o sienito nefelínico é, em geral, utilizado moído na granulometria abaixo de 74 μm , contudo existem casos em que a moagem é abaixo de 53 ou mesmo 37 μm (Andrade *et al.*, 2005; Sampaio & França, 2005).

O sienito nefelínico é utilizado para a elaboração de praticamente todos os esmaltes cerâmicos, dada a sua capacidade de atuar em ambos os ciclos, o de queima rápida e o convencional. A grande vantagem em utilizar o sienito nefelínico, ao contrário dos feldspatos, é a ação fundente muito superior do primeiro e a obtenção de um fundido de baixa viscosidade. Este facto está ligado ao teor de álcalis superior ao dos feldspatos, o que proporciona um menor consumo do produto mineral (Andrade *et al.*, 2005).

Ao utilizar o sienito nefelínico na indústria cerâmica deve ter-se especial cuidado com a percentagem de minerais ferromagnesianos presentes. Estes conferem ao produto cerâmico tonalidades mais escuras e possíveis aparecimentos de manchas, comprometendo assim a sua potencial aplicação. A remoção destes minerais depende da forma como estão associados à rocha, podendo ser utilizada a separação magnética ou a flotação. Quando possível deve complementar-se com uma operação química de purificação, a lixiviação, por exemplo, e assim obter produtos de pureza elevada (Andrade *et al.*, 2005; Sampaio & França 2002; Sampaio & França, 2005; Velho, 2005).

Em geral, o sienito é misturado com argilas plásticas, caulino e talco, podendo perfazer até cerca de 60% do corpo cerâmico (Sampaio & França, 2005; Velho, 2005). A tabela 2.3 resume o contributo do sienito nefelínico e dos feldspatos (em percentagem) nos produtos cerâmicos.

Tabela 2.3 - Contributo percentual do sienito nefelínico e feldspatos nos produtos cerâmicos (retirado de Sampaio e França, 2005, adaptado Kauffman e Dyk, 1994).

Produtos	%
Louças	17-20
Cozinha (louça)	10
Azulejos	0-11
Porcelana dental	60-80
Isolante elétrico	25-35
Pisos	55-60

No que diz respeito à indústria do vidro, o sienito nefelínico é utilizado como fonte de alumina, soda e potássio (Kendall, 1993; Sampaio & França, 2005; Velho, 2005). O contributo da alumina na composição da maior parte dos vidros depende do tipo de vidro a ser obtido, para Sampaio & França (2005) e Velho (2005) esta pode variar entre 2 e 15%. A sua presença é importante, na medida em que aumenta tanto a resistência química como física do vidro, nomeadamente a resistência aos ataques químicos, aumento da dureza e durabilidade. Esta última é promovida através do aumento da resistência ao impacto, flexão e choque térmico.

Segundo os mesmos autores a alumina atua ainda como estabilizador e tem vantagens ao nível de trabalhos de vidro fundido, aumentando a viscosidade durante a formação dos vidros e inibindo a sua desvitrificação.

Por outro lado, os álcalis atuam como fundentes, baixando a temperatura de fusão da mistura e, consequentemente, reduzem a quantidade de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a ser adicionado, permitindo assim uma substancial redução de custos de produção (Sampaio & França, 2005).

Ao apresentar estes três componentes, o sienito nefelínico é um ótimo substituto dos feldspatos, ou aplitos, também eles ricos em alumina e com elevadas percentagens de álcalis (Velho, 2005) sendo utilizado quando há carência na oferta destes. Segundo Sampaio & França (2005) a indústria do vidro ao utilizar o sienito nefelínico tem como principais vantagens:

- baixo ponto de fusão e menor temperatura de trabalho do vidro;
- redução da viscosidade do vidro fundido e aumento da sua trabalhabilidade;
- aumento das resistências química e física do vidro;
- redução do consumo de carbonato de sódio, pelo conteúdo de álcalis;
- fusão mais rápida e elevada produtividade;
- redução, de forma significativa, do consumo de combustível.

Ao ser aplicado no vidro, o sienito nefelínico deve apresentar uma granulometria compreendida entre 450 e 75 μm , o conteúdo em ferro deve ser mínimo (inferior a 0,1%) e os conteúdos em alumina e álcalis devem ser o mais elevado possível, superior a 23 e 14%, respetivamente (Velho, 2005). Para Sampaio & França (2005), a granulometria pode variar entre os 350 e 74 μm , contudo quanto ao conteúdo em ferro os autores são concordantes, acrescentando que existe uma tolerância para os teores de óxido de ferro, desde que não exista um controlo rígido para a coloração do vidro, como é o caso da produção de vidro verde, âmbar e fibra de vidro. Mesmo assim o máximo permitido é de 0,35% de Fe_2O_3 .

A extração de alumínio a partir dos sienitos nefelínico aumenta o potencial industrial desta rocha. A extração de alumina a partir de rochas pobres em alumínio pode ser realizada ou por via seca ou húmida e, nesta última, por via básica ou ácida. Destas duas formas de extração, a mais adequada ao sienito nefelínico é a via húmida ácida, através do ataque com ácido sulfúrico a temperatura ambiente e à pressão atmosférica, permitindo a dissociação dos silicatos de alumínio (Velho, 2005). O tratamento através de ácido sulfúrico, ao invés de ácido sulfuroso, clorídrico ou nítrico, reside essencialmente no seu baixo preço e, ponto de ebulição alto, o que permite operar a temperaturas elevadas (Coelho, 1977a).

Após obter o sulfato de alumínio é necessário mudar o meio químico, pois este não pode ser isolado no estado líquido. Assim sendo, a partir do sulfato de alumínio impuro passa-se ao meio clorídrico. O ácido sulfúrico é recuperado, sendo o metal precipitado sob a forma de cloreto de alumínio hidratado, seguidamente purificado por recristalização. A alumina é obtida por calcinação e o ácido clorídrico é também recuperado (Velho, 2005).

As principais vantagens de utilização deste processo são de natureza tecnológica e económica. A primeira diz respeito à diminuição dos efeitos de corrosão no material dos tanques onde é efetuado o ataque do minério e uma maior pureza dos elementos dissolvidos. A nível económico existe um menor dispêndio de energia e ácidos e, simultaneamente, uma redução de equipamentos necessários (Coelho, 1977a; Velho, 2005). São várias as aplicações do alumínio, dando-se destaque para transportes (ferroviários, rodoviários, marítimos, aéreos), construções mecânicas, construções elétricas, construção civil, embalagens, equipamentos domésticos, siderurgia e metalurgia (Coelho, 1977a).

A Rússia é o país que tira o maior proveito da extração de alumínio a partir do sienito nefelínico (Velho, 2005), aproveitando o subproduto silicato dicálcico, que é obtido durante o processo de produção de alumínio, para produção do cimento *Portland* (Velho *et al.*, 1998). Sampaio & França (2005) referem que o processo de obtenção de alumínio metálico com base no sienito nefelínico é um processo difícil e pouco viável, pelo facto do mesmo metal, extraído a partir da bauxite, ser mais competitivo em termos de processo e custos de produção.

Para além da aplicação ao nível da indústria da cerâmica, do vidro, e como fonte de alumínio, o sienito nefelínico pode ainda ser uma mais-valia para cargas e pigmentos minerais, nomeadamente, tintas, plásticos, borrachas, colas e vedantes.

Para ser utilizado como pigmento e carga, o sienito nefelínico deve ser moído, classificado, calcinado e ser submetido a flotação, separação magnética e tratamentos de superfície. Das várias propriedades que o sienito apresenta deve ser dado destaque às seguintes: dureza, granulometria após moagem, forma das partículas, cor, índice de refração e propriedades químicas (Sampaio & França, 2005).

Dado o elevado grau de brancura, ausência de reatividade, excelente retenção de tinta, fácil dispersão e sendo fácil de formular e aplicar, esta rocha, quando finamente moída, pode ser usada como carga na indústria das tintas, nomeadamente para aplicações nas áreas de tráfego intenso, como cobertura primária nas pinturas metálicas, nas madeiras para evitar manchas e também nas tintas selantes (Sampaio & França, 2005; Velho, 2005).

Segundo Velho *et al.* (1998), Velho (2005) e Moura & Velho (2011), devido ao facto de se obter suspensões com elevado teor de sólidos, as partículas de sienito nefelínico originam um empacotamento mais fechado e mais rígido, melhorando a resistência da tinta. Os mesmos autores revelam ainda que, a dureza dos minerais desta rocha promove uma melhor lavagem da tinta e, quando esta se deteriora, o sienito origina um produto branco que não amarelece quando exposto.

Uma desvantagem da aplicação do sienito nefelínico neste sector, está relacionado com a quantidade de sódio existente na nefelina que, quando sujeita a ambientes ácidos e em tintas fortemente porosas, como os latexes acrílicos, pode combinar-se com aniões formando sais na superfície da película (Velho, 2005).

A maioria das propriedades que tornam o sienito nefelínico adequado para as tintas, também se aplicam para os plásticos. Segundo Velho *et al.* (1998), Velho (2005) e Moura & Velho (2011), a qualidade desta rocha, está relacionada com a baixa viscosidade, elevada percentagem de sólidos, elevado grau de brancura, boa dispersão, e ainda elevada resistência à abrasão, ao ataque químico e à tração. Os mesmos autores salientam ainda que, o baixo índice de refração ($\approx 1,53$), combinado com uma baixa dispersão da luz, decorre na não saliência/destaque do sienito na resina. Para além deste facto, o sienito é transparente à radiação UV e micro-ondas, evitando neste último caso que os alimentos se queimem e ao mesmo tempo que a matriz resinosa se deteriore.

Para Velho *et al.* (1998) e Velho (2005), as características já mencionadas acima, como elevado grau de brancura, fácil dispersão, resistência ao ataque químico, resistência à descoloração, à abrasão e índice de refração, permite que esta rocha tenha aplicações em borracha de silicone para automóveis e em colas de polivinil acetato.

2.2.3. Potencial do Sienito Nefelínico de Monchique

Vários têm sido os estudos feitos para viabilizar a exploração do sienito nefelínico de Monchique com vista à sua utilização na indústria, tanto para aplicação na cerâmica, como vidro e extração de alumínio.

Coelho (1965) defende o valor do sienito nefelínico de Monchique como matéria-prima na indústria cerâmica, após ter confrontado as composições mineralógicas e químicas do sienito tipo Alferce (Monchique) com os sienitos nefelínicos do Canadá e Noruega, já que a rocha do Canadá era amplamente utilizada como fundente em pastas cerâmicas e a da Noruega já estava a ser estudada para o mesmo fim. Deste estudo, Coelho conclui ainda que a percentagem de óxidos de ferro é um pouco mais elevada que nas outras duas rochas, afetando apenas a coloração das pastas.

A investigação feita por Coelho prossegue e em 1977 tenta a extração de alumínio a partir da nefelina, mineral rico em alumina. A utilização de ácido clorídrico, sulfúrico ou nítrico permitem uma praticamente total dissociação da nefelina. O autor deixa ainda uma observação “É evidente que o rendimento do processo aplicado aos sienitos de Monchique estará condicionada ao grau de concentração da nefelina”, permitindo assim concluir que quanto maior a percentagem de nefelina maior será a probabilidade de sucesso da extração de alumina.

Balacó-Moreira & Romão (1983) defendem que o elevado teor em ferro e o relativamente baixo teor em alumina, torna difícil a utilização dos minerais presentes nesta rocha como substituto do feldspato, contudo deixa uma nota: “ (...) se com o avanço da tecnologia se tornar economicamente viável a valorização desta matéria-prima, não são de modo nenhum de desprezar, as reservas existentes.” Desta forma, estes autores reforçam a ideia de que o potencial do maciço de Monchique não deve ser descurado.

2.2.4. Estudo de Mercado

De modo a realçar a importância do sienito nefelínico, tanto a nível ornamental como no setor industrial, efetuou-se uma pequena síntese do estado de mercado, entre os anos 2010-2014, de modo a compreender a importância da valorização do sienito de Monchique nestes dois setores.

Em termos de nomenclatura, importa salientar que a base de dados da Direção Geral de Energia e Geologia, não apresenta valores especificamente para o sienito nefelínico, estando este englobado nos grupos denominados “Granito e outras rochas similares” e “Pedra natural talhada para calcetamento”. Por outro lado a base de dados UN Comtrade engloba o sienito nefelínico no grupo “Leucite, nefelina e sienito nefelínico”.

Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia, adiante designada como DGEG, em 2014, o valor total das substâncias minerais que saíram de Portugal atingiu 833 milhões de euros dos quais 411,8 milhões de euros (49,4%) dizem respeito a minérios metálicos (essencialmente concentrados de cobre, zinco e de tungsténio) e 371,5 milhões de euros (44,2%) a rochas ornamentais (ver figura 2.3). A mesma fonte adianta ainda que o valor total de substâncias que entraram em Portugal em 2014 ronda os 400 milhões de euros, perfazendo cerca de 50% dos valores exportados. Cerca de 60% deste valor (240 milhões de euros) corresponde à importação de carvão e 27% (107 milhões de euros) à importação de minerais industriais (ver gráfico 2.4).

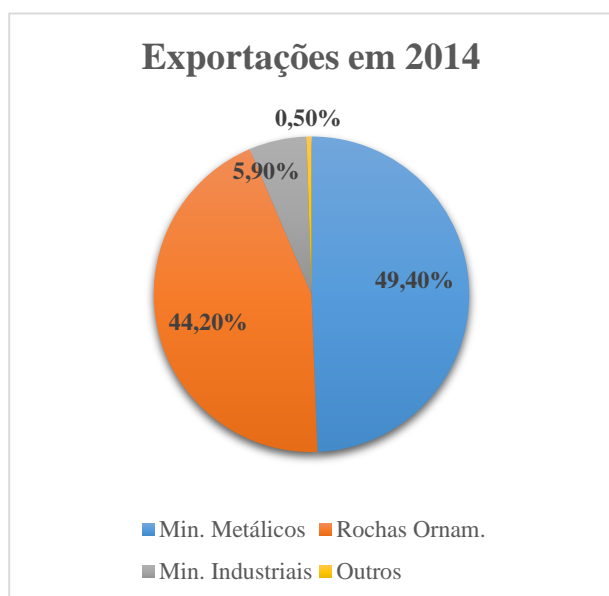


Figura 2.3 – Exportações em Portugal no ano de 2014.

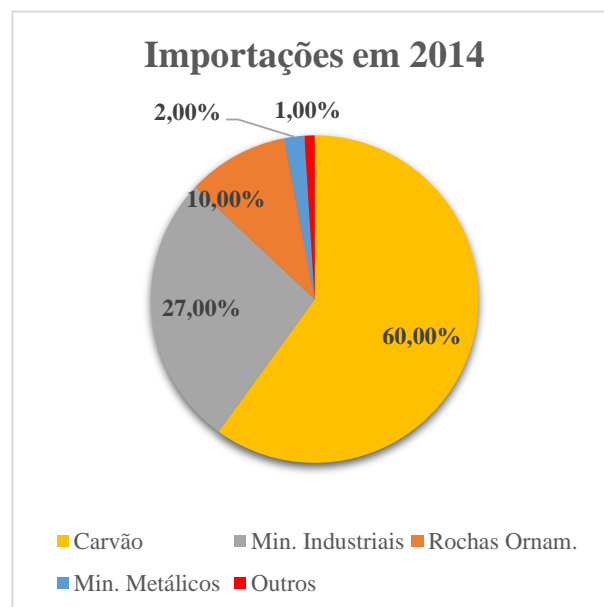


Figura 2.4 – Importações em Portugal no ano de 2014.

Ainda segundo a mesma fonte, o principal destino das exportações nacionais é para a China (15,6%), sendo essencialmente concentrados de cobre e de rochas ornamentais, passando assim a Finlândia para segundo lugar, importando essencialmente concentrados de cobre e zinco.

Dada a dificuldade em obter dados fidedignos relativamente aos anos 2013 e 2014, optou-se por fazer uma análise relativa aos anos 2010, 2011 e 2012, tendo em consideração as produções, importações e exportações, reportadas tanto ao DGEG como à UN Comtrade e tendo por base as categorias em que esta rocha está inserida.

Desta forma considerou-se os dados reportados ao DGEG como o universo total de exportações/importações, enquanto que os valores reportados à UN Comtrade foram aqui utilizados como os correspondentes efetivamente ao sienito nefelínico. A interpolação dos dados destas duas fontes estatísticas foi o processo mais intuitivo e simples para se tentar obter os valores mais próximos da realidade no que diz respeito ao sienito nefelínico que, por ser uma rocha pouco abundante, tanto em Portugal como no resto do mundo, está englobada noutras categorias como mencionado no início do subcapítulo.

Relativamente às exportações, segundo a UN Comtrade, o ano em que Portugal exportou mais sienito nefelínico foi em 2011, com o valor aproximado de 116.391€, correspondendo a cerca de 0,1% do total de exportações de granitos e outras rochas similares. Já no que refere às importações estas mantiveram-se constantes ao longo destes três anos, tendo atingindo um máximo de 1.872.390€ em 2012, perfazendo cerca de 7,8% do total de importações de granitos e outras rochas similares. Nas figuras 2.5 e 2.6 podem observar-se os gráficos resumo referentes às exportações e importações do sienito nefelínico.

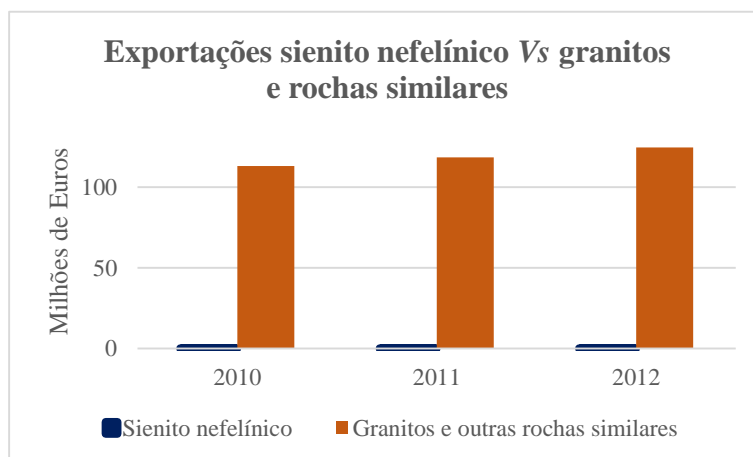


Figura 2.5 – Comparação dos dados referentes às exportações da UN Comtrade e DGEG para o sienito nefelínico.

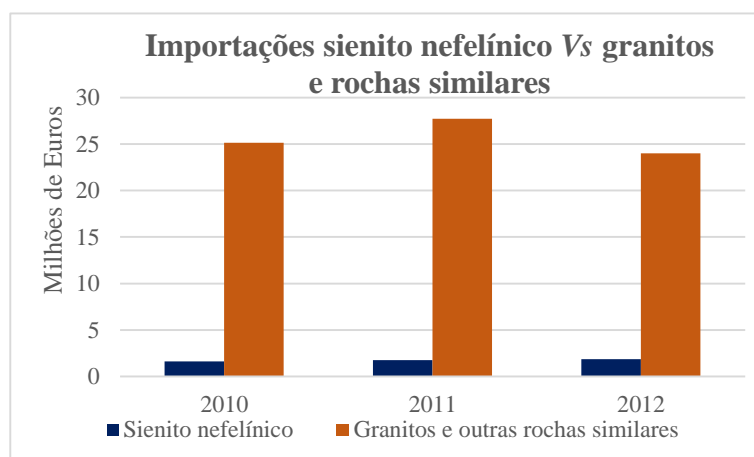


Figura 2.6 – Comparação dos dados referentes às importações da UN Comtrade e DGEG para o sienito nefelínico.

Importa referir que a autenticidade dos dados utilizados deve ter em consideração que estes dependem dos valores reportados às fontes em questão, nomeadamente DGEG e UN Comtrade, não existindo garantia que estes correspondam efetivamente aos valores reais.

As exportações de sienito nefelínico são essencialmente para a China e Estados Unidos da América, contudo no Japão é também possível encontrar diversos edifícios com aplicações do sienito nefelínico de Monchique, nomeadamente, Tokyo City Hall Complex (figura 2.7), Senday City Museum, Bank of Japan Osaka Branch, entre outros.



Figura 2.7 – Tokyo City Hall Complex (fonte: http://static.planetminecraft.com/files/resource_media/screenshot/1328/Tokyo-City-Hall-PMC-Contest-PvM1_5908595.jpg).

3. Caso de Estudo

Sendo o sienito nefelínico português uma rocha exclusiva da região algarvia, mais precisamente da Serra de Monchique e, a nível mundial, não ser uma rocha muito abundante, pretende-se retirar um maior proveito desta rocha que, até ao momento, tem como principal aplicação o sector ornamental.

3.1. Enquadramento Geográfico

O complexo alcalino de Monchique, integrado na Zona Sul Portuguesa, aflora no núcleo da Serra de Monchique, na região ocidental do Algarve (figura 3.1).

A Este do ponto mais alto de toda a região algarvia (Foia - 902 m), localiza-se o afloramento onde foi feita a recolha de sienito nefelínico, com as coordenadas 37°19' N 8°30' W. As localidades mais próximas em linha reta são Monchique a 3,9 km para W e Alferce a 2,3 km para NE, por estrada são aproximadamente 5,9 km e 5,7 km respetivamente (ver figura 3.1).



Figura 3.1 – À esquerda mapa de Portugal Continental; à direita ampliação da região de Monchique com a respetiva localização do local de recolha das amostras (Fonte: <https://www.google.pt/maps/@37.3251925,-8.5168944,8470m/data=!3m1!1e3>).

3.2. Enquadramento Geológico e Tectónico

Os diversos estudos, tanto a nível petrográfico como geológico, de que o Complexo Alcalino de Monchique tem sido objeto, remontam a meados do séc.XIX. Segundo Kaiser (1968), os trabalhos mais importantes realizados na Serra de Monchique foram efetuados por K. V. Seebach (1879), K. V. Kraatz-Koschlau e V. Hackmann (1897 & 1967), sendo estes dois últimos responsáveis pela elaboração de um trabalho minucioso que serviu de ponto de partida para os estudos que, posteriormente, foram realizados.

O Maciço de Monchique aflora a norte do limite setentrional da Bacia do Algarve, na Zona Sul Portuguesa, cuja idade é 72 ± 2 M.a (método de K-Ar), pertencendo ao Cretácico Superior (Aires-Barros, 1979; Macintyre & Berger, 1982; Kullberg & Kullberg, 2000; González-Clavijo & Valadares, 2003b; Terrinha *et al.*, 2013). Monchique é o maciço ígneo alcalino mais importante a nível europeu e, um dos maiores de composição miasquítica do mundo (Rock, 1983; Oliveira, 1984). Para Coelho (1963), o Maciço de Monchique é um dos mais importantes depósitos de nefelina da Europa.

Aflorando em aproximadamente 80 km² (González-Clavijo & Valadares, 2003a; Terrinha *et al.*, 2013), o maciço alcalino de Monchique é maioritariamente composto por sienito nefelínico, apresentando algumas rochas que forneceram litótipos como foiaíto, monchiquito e algarvito (Aires-Barros, 1979). Do ponto de vista morfológico encontra-se dividido em duas elevações principais: Foia, a 902 m, situado na parte ocidental e Picota, a 773 m, na parte oriental (González-Clavijo & Valadares, 2003a). Segundo Santos (1973), estas duas unidades apresentam uma estrutura complexa, associada a processos de compressão N-S e a distensão E-W, condicionando não só a morfologia superficial como a heterogeneidade da rocha, que constitui a quase totalidade do maciço.

Os xistos e grauvaques em sequência turbidítica, pertencentes à Formação da Brejeira incluída no Grupo do Flysh do Baixo Alentejo, constituem as rochas encaixantes do maciço (Oliveira *et al.*, 1979). Rock (1983) afirma que os metassedimentos encaixantes são constituídos por xistos físseis, grauvaques, arenitos e quartzitos. O mesmo autor afirma ainda que, junto ao contacto com o maciço ígneo, surge uma faixa de corneanas típicas e que a andaluzite e a cordierite aparecem nas faixas aluminosas.

Relativamente à estrutura interna do maciço, o levantamento cartográfico (González-Clavijo & Valadares, 2003a), permitiu individualizar diversas unidades litológicas, colocando assim em evidência uma estrutura interna zonada e concêntrica (ver figura 3.2). A diferenciação principal ocorre entre dois tipos de sienitos nefelínicos que, para Santos (1973), correspondem a domínios nuclear e marginal.

O núcleo do complexo alcalino é constituído por sienito nefelínico com geometria sub-elíptica, elevada homogeneidade textural e granularidade grosseira (González-Clavijo & Valadares, 2003a; Terrinha *et al.*, 2013). A textura é heterogranular, hipidiomórfica, apresentando, por vezes, carácter fluidal (Terrinha *et al.*, 2013). Esta unidade encontra-se na vertente meridional da Foia, estendendo-se para W, até próximo de Picos e, para E, formando a maior parte da elevação da Picota (González-Clavijo & Valadares, 2003a). A associação mineralógica deste tipo de rochas é constituída por feldspato alcalino (ortose micro e cripto- perítica), nefelina (por vezes com inclusões de hematite), piroxena (aegirina e aegirina-augite), biotite e esfena (González-Clavijo & Valadares, 2003a; Terrinha *et al.*, 2013). Segundo ainda os mesmos autores, o conteúdo em nefelina é superior a 20%, atingindo pontualmente os 40%.

A envolver a unidade acima descrita, encontra-se um anel exterior e descontínuo de sienito nefelínico heterogéneo (González-Clavijo & Valadares, 2003a). No interior desta unidade, é possível reconhecer diferentes fácies, não individualizáveis cartograficamente, que se distinguem entre si pelo teor de nefelina (inferior a 10%, atingindo pontualmente 20%), proporções relativas de minerais máficos (clinopiroxena, anfíbola, biotite) e granularidade (variando de muito fina a pegmatítica) (González-Clavijo & Valadares, 2003a; Terrinha *et al.*, 2013). Relativamente à composição mineralógica, esta é semelhante ao domínio nuclear com a particularidade de apresentar anfíbola, maiores quantidades de clinopiroxena, esfena, biotite e opacos e, ainda, apresentar no seu interior grandes encraves de corneanas (González-Clavijo & Valadares, 2003a; Terrinha *et al.*, 2013).

Estas duas unidades de sienito nefelínico perfazem cerca de 90% da área aflorante do Complexo Alcalino de Monchique (figura 3.2), sendo os restantes 10% constituídos por rochas ultramáficas, máficas e intermédias e, diversos tipos de brechas (González-Clavijo & Valadares, 2003a; Terrinha *et al.*, 2013). Estes litótipos menores estão situados na unidade heterogénea de bordo e, ainda em algumas ocasiões, entre esta e a unidade nuclear de sienitos nefelínicos (González-Clavijo & Valadares, 2003a; Terrinha *et al.*, 2013).

Importa salientar a possível correlação existente entre os maciços eruptivos de Sintra, Sines e Monchique. Muitos têm sido os autores a estudar esta possível correlação, contudo, e apesar de existirem alguns factos que levem a crer que estes tenham a mesma origem, nomeadamente o alinhamento NNW-SSE dos três maciços, ainda não foi encontrada qualquer estrutura contínua que os una, quer por métodos convencionais de cartografia de superfície, quer por outros métodos geofísicos ou ainda de deteção remota (Valadares, 2004).

Coelho (1974; 1977b) defende que a causa primária dos três maciços terá sido a mesma mas, os mecanismos das intrusões poderão não ser necessariamente os mesmos. Para tal apresenta alguns factos, dos quais se destacam: i) As intrusões são contemporâneas; ii) localização dos maciços permite uni-los por uma linha reta, aproximadamente coincidente com a linha do litoral; iii) os três apresentam forma elíptica, com os eixos maiores orientados segundo uma linha E-W; iv) no maciço de Monchique as rochas são hiperalcalinas e alcalinas-sódicas, vincadamente subssaturadas, ao contrário do que se observa em Sintra e Sines; v) ausência de sinais externos de intrusão violenta no maciço algarvio; vi) ausência de filões periféricos arqueados e poucos sinais de fracturação no complexo de Monchique.

Para Ribeiro *et al.* (1979) o alinhamento NNW-SSE, desligamento direito, é uma falha profunda responsável pela intrusão dos três maciços, resultando o local das intrusões, da intersecção deste desligamento com um desligamento esquerdo, NE-SW.

Rock (1982) inclui os três maciços portugueses na grande província alcalina Ibérica do Cretácico superior, associando-os a outras intrusões e, considera ainda, que esta atividade magmática resulta da atividade tectónica que esteve na origem da junção tripla atlântica, em particular a abertura da Baía de Biscaia.

Kullberg (1985), citado por Kullberg (1996) e Valadares (2004), considera a forma alongada dos três maciços como a “materialização geométrica da elipse de deformação finita associada à intrusão dos maciços”. Para esta autora o acidente profundo NNW-SSE ter-se-ia gerado pela rotação sinistrógi da Península Ibérica e ainda pela existência de um campo de tensão com compressão horizontal máxima orientada NNW-SSE. No cretácico superior, a compressão teria rodado para uma direção N-S, definindo assim a forma final dos maciços.

Terrinha (1998) propõe um novo modelo de instalação para os maciços de Sintra, Sines e Monchique. Segundo este autor a falha com orientação NNW-SSE existe apenas em profundidade, e o magma, fluido e menos denso que o encaixante, ascende à superfície através de *releasing bends*.

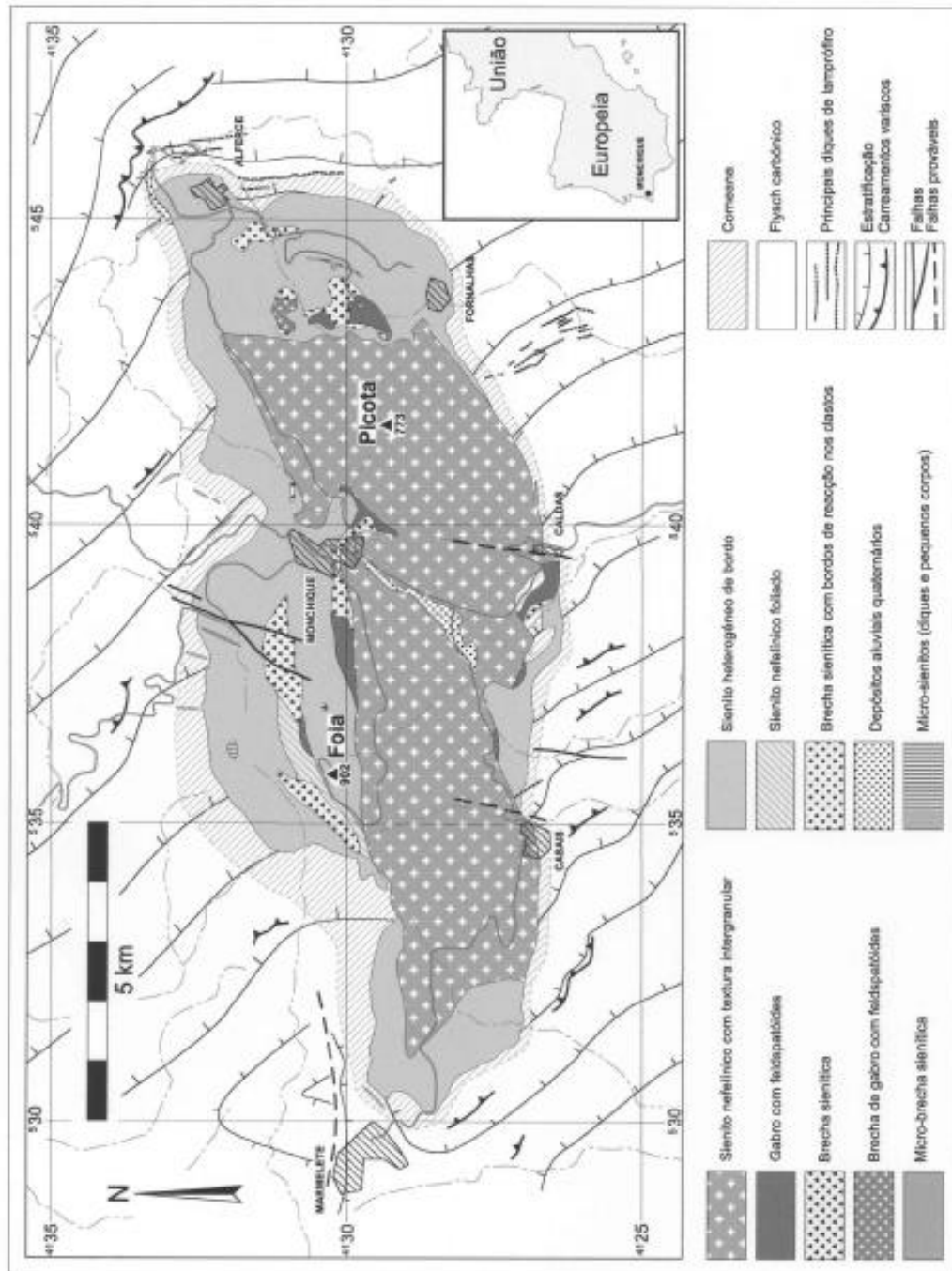


Figura 3.2 – Mapa geológico do complexo alcalino de Monchique (retirado de González-Clavijo & Valadares, 2003a).

3.3. Caracterização Mineralógica, Petrográfica e Química

Para uma correta avaliação das potencialidades da incorporação do sienito nefelínico na indústria cerâmica, importa analisar as características mineralógicas, petrográficas e químicas tanto do sienito nefelínico, como da argila utilizada na mistura para elaboração dos provetes cerâmicos.

3.3.1. Descrição macroscópica e microscópica

Macroscopicamente, o sienito nefelínico de Monchique é leucocrata, com tonalidade acinzentada, texturalmente é uma rocha fanerítica de grão médio a grosseiro, onde é possível destacar os feldspatos potássicos de hábito alongado e grãos castanho-avermelhados de nefelina, por vezes bem desenvolvidos (ver figura 3.3).

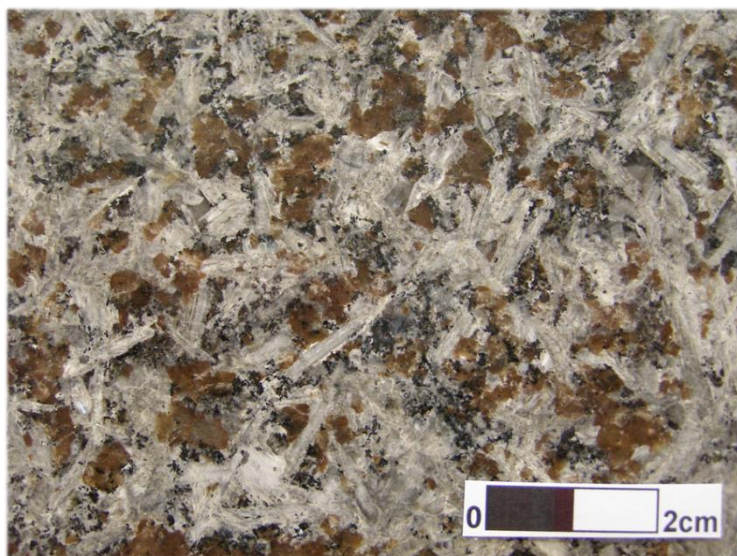


Figura 3.3 – Aspeto macroscópico do sienito nefelínico de Monchique (fotografia de J.Simão).

Dada a falta de tempo para realizar lâminas delgadas do sienito nefelínico recolhido no campo, optou-se por utilizar lâminas delgadas já existentes no Departamento de Ciências da Terra, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, correspondentes a sienitos nefelínicos recolhidos entre a zona de Monchique e Caldas. Por forma a garantir o máximo de proximidade com as amostras recolhidas para este caso de estudo, foram escolhidas lâminas delgadas correspondentes a sienitos nefelínicos que macroscopicamente se aproximam ao recolhido para esta investigação.

Ao microscópio petrográfico observaram-se duas lâminas delgadas e identificaram-se os minerais essenciais. Maioritariamente o sienito nefelínico é constituído por feldspato potássico (ortoclase), já que este é um mineral abundante em ambas as lâminas observadas, seguindo-se a nefelina e, em menores quantidades, aegirina-augita, esfena e biotite (ver figura 3.4).

Ao observar as diferentes microfotografias, é possível identificar o feldspato potássico (ortoclase) por vezes muito alterado e com macla de Carlsbad, a nefelina com grãos pouco alterados, a aegirina-augite fraturada, a esfena em cristais losangulares, a biotite em cristais de pequenas dimensões e minerais opacos dispersos, podendo estes últimos corresponder, segundo Simão (2003), a pirite ou magnetite.

Não tendo sido possível efetuar uma caracterização mineralógica adequada, considera-se para esta dissertação as percentagens obtidas por Simão (2003). Em termos de minerais essenciais o sienito nefelínico de Monchique apresenta, aproximadamente, 45% de feldspato potássico (ortoclase), 22% de nefelina, 10% de aegirina-augite, 8% de esfena e 6% de biotite. A restante percentagem diz respeito a minerais acessórios, nomeadamente: sodalite, hornblenda, apatite, rútilo, zircão e minerais opacos (ver tabela 2.1, capítulo 2).

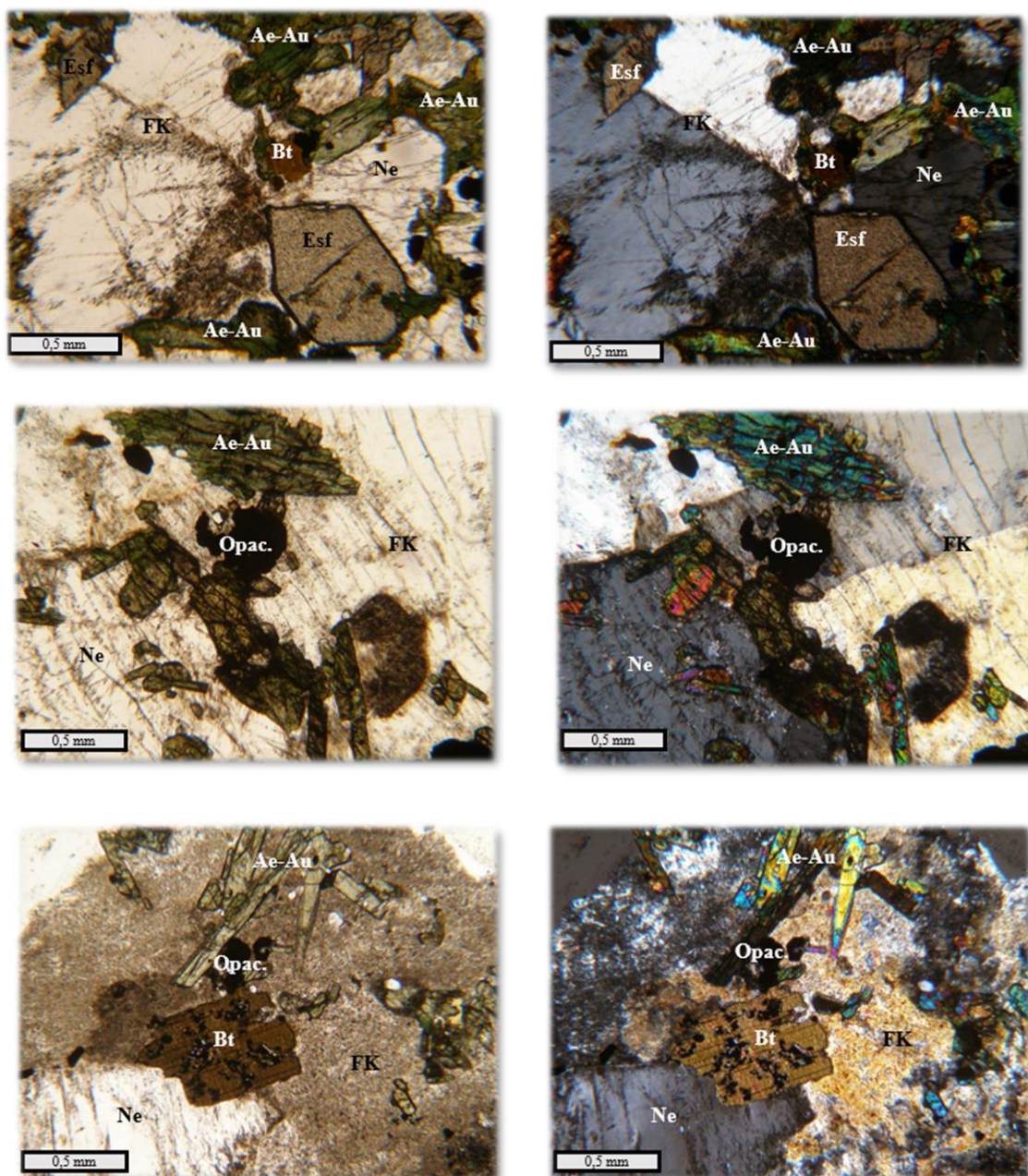


Figura 3.4 – Microfotografias do sienito nefelínico de Monchique, à esquerda nicóis paralelos, à direita nicóis cruzados. Legenda: FK (feldspato potássico), Ne (nefelina), Ae-Au (aegirina-augite), Esf (esfena), Bt (biotite), Opac. (minerais opacos).

A composição mineralógica da argila foi determinada por Sena da Fonseca, Galhano & Seixas (2015). A figura que se segue (ver figura 3.5) mostra o diagrama da composição mineralógica efetuada por Difração de Raios X na amostra total de argila. Os picos sugerem a presença de quartzo, calcite e caulinite como minerais predominantes, juntamente com micas, provavelmente ilite. A amostra exibe uma composição próxima das argilas cauliníticas usadas na produção de telhas e tijolos da região de Aveiro.

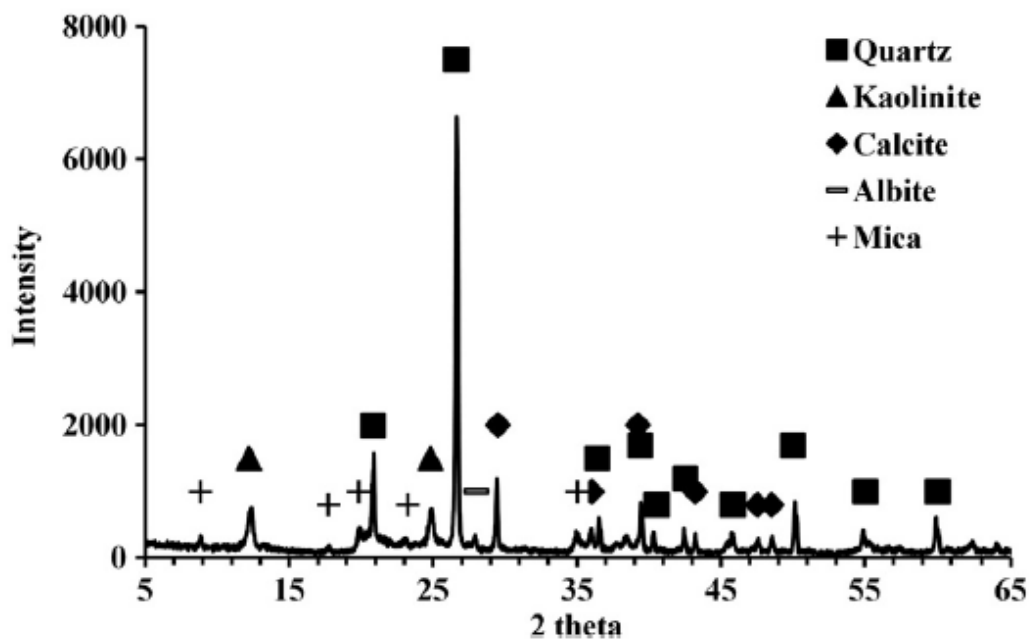


Figura 3.5 – Diagrama da composição mineralógica da argila (retirado de Sena da Fonseca, Galhano & Seixas, 2015).

3.3.2. Análise química

A composição química das rochas é um aspeto muito importante na indústria cerâmica, sendo o principal fator responsável pelo comportamento que os materiais desempenham antes, durante e após a queima.

Nesta investigação não foi possível determinar a composição química do sienito nefelínico recolhido no campo, entre Monchique e Alferce, contudo, e dada a sua importância para este sector industrial, considerou-se a análise química obtida por Simão (2003).

Tabela 3.1 – Composição química do sienito nefelínico de Monchique (retirado de Simão, 2003).

Autor	Composição Química								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (total)	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Simão (2003)	53,93%	21,11%	3,40%	0,08%	1,89%	0,38%	9,27%	6,32%	0,88%

Ao analisar a tabela acima deve ser dado especial destaque à alumina, teor de álcalis e óxidos de ferro. Segundo Sampaio *et al.* (2008) estes três óxidos apresentam as seguintes propriedades: a alumina promove a durabilidade dos materiais através do aumento da resistência ao impacto, à flexão e ao choque térmico; o teor de álcalis atua como fundente, diminuindo a temperatura de fusão da mistura e, consequentemente, reduzindo a quantidade de carbonato de sódio a ser adicionado, reduzindo assim os custos de produção e, por último, deve ser dada especial atenção à presença de óxidos de ferro, responsáveis pela coloração das misturas.

Em suma, a baixa temperatura de fusão em simultâneo com a elevada capacidade fundente, permite ao sienito nefelínico atuar como agente vitrificante, contribuindo para a formação de uma fase vítrea que liga outros constituintes da mistura. Isto possibilita um baixo conteúdo de fundente no corpo cerâmico, baixando a temperatura e diminuindo o tempo de queima. O aumento do tempo de queima resulta numa resistência física mais elevada do produto final (Sampaio *et al.*, 2008).

Para avaliar a possível utilização do sienito nefelínico de Monchique na indústria cerâmica, optou-se por comparar a composição química da rocha portuguesa com a composição química dos sienitos nefelínicos comercializados no Canadá e Noruega, estes últimos com aplicações tanto na indústria cerâmica como na indústria do vidro (ver tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Composição química do sienito nefelínico em função do país de origem
(adaptado McLemore, 2006; Simão, 2003).

Origem do Sienito Nefelínico	Composição Química								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Portugal (Monchique)	53,93%	21,11%	3,40%	0,08%	1,89%	0,38%	9,27%	6,32%	0,88%
Canadá (Ontário)	58,57%	23,68%	1,56%	0,02%	0,35%	0%	9,57%	5,82%	0,05%
Noruega (Stjernoya)	52,73%	23,71%	3,89%	0,06%	2,54%	0,24%	7,78%	8,08%	0,51%

Segundo Sampaio *et al.* (2008) os teores de alumina e álcalis no sienito nefelínico para potencial aplicação industrial devem ser os mais elevados possíveis, ou seja, 23 e 14%, respetivamente. Ao observar a tabela 3.2 conclui-se que a percentagem de alumina no sienito nefelínico de Monchique é, aproximadamente, 2,6% mais baixa que nas rochas do Canadá e Noruega. Apesar de se considerar aceitável o valor da alumina na rocha portuguesa e, uma vez que a alumina contribui para o aumento da resistência mecânica do material, esta diferença pode ser compensada com uma pequena adição de carbonato de sódio (Quereda *et al.*, 2011). Relativamente ao teor de álcalis, tanto o sienito nefelínico de Monchique, como o proveniente do Canadá e da Noruega, apresentam valores muito próximos, 15,59%, 15,39% e 15,86%, respetivamente.

No que diz respeito à percentagem de óxidos de ferro, a indústria cerâmica impõe menos restrições do que a indústria do vidro, contudo, quanto maior a sua percentagem mais escuros se tornam os materiais e mais restrita se torna a sua aplicação. Ao observar a tabela 3.2 verifica-se uma percentagem semelhante de óxidos de ferro para a rocha portuguesa e norueguesa, esta última com aplicações industriais. Assim, aconselha-se a separação magnética para remoção de alguns dos minerais ferromagnesianos presentes, à semelhança do efetuado tanto no Canadá como na Noruega, para obtenção de pastas cerâmicas o mais claras possíveis.

A tabela que se segue (tabela 3.3) exhibe a composição química da argila utilizada, segundo Sena da Fonseca *et al.*, (2014).

Conclui-se que as fases minerais determinadas por Difração de Raio X encontram-se de acordo com a composição química obtida.

Tabela 3.3 – Composição química da argila (retirado de Sena da Fonseca *et al.*, 2014).

Autores	Composição Química										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (total)	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ZrO ₂
Sena da Fonseca <i>et al.</i> , (2014)	61,48%	21,89%	3,74%	1,61%	0,47%	8,73%	0,06%	0,07%	1,85%	0,08%	0,01%

4. Metodologia

Dada a dificuldade de avaliar, na prática, o potencial do sienito nefelínico em indústrias como o vidro, extração de alumínio, plástico, borrachas, etc., já mencionado no capítulo 2.2. optou-se por restringir a investigação apenas à indústria cerâmica, visto os meios disponíveis em laboratório conseguirem reproduzir, numa forma aceitável e próxima da realidade, o procedimento efetivamente aplicado neste sector industrial.

Para tal executaram-se um total de 150 provetes, sendo que destes, 135 provetes resultam da mistura de sienito nefelínico com argila, tendo sido utilizadas três percentagens diferentes de sienito, nomeadamente: 20%, 40% e 60%. Os restantes 15 provetes são compostos somente por argila e servem de referência. Do total de 150 provetes, realizaram-se três fornadas diferentes, sujeitas a três diferentes temperaturas: 900 °C, 1000 °C e 1100 °C.

Após a obtenção dos 150 provetes cozidos, realizaram-se ensaios de caracterização física e mecânica, que em conjunto com as análises químicas realizadas por Simão (2003) possibilita uma caracterização tecnológica adequada dos provetes elaborados.

Realizou-se ainda um ensaio de colorimetria para avaliar a cor dos provetes, visto este ser um fator importante na comercialização de produtos cerâmicos e, o ensaio de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino para avaliar a potencial aplicação de materiais cerâmicos incorporados com sienito nefelínico em regiões costeiras.

Realizaram-se assim os seguintes ensaios:

1. Ensaio de caracterização física
 - Porosidade aberta
 - Massa volúmica aparente
 - Absorção de água
2. Ensaio de caracterização mecânica
 - Resistência à flexão sob carga centrada
3. Resistência ao envelhecimento
 - Ensaio de nevoeiro salino
4. Ensaio de colorimetria
 - Sistema CIELAB

Segue-se um esquema, que resume o procedimento prático efetuado.

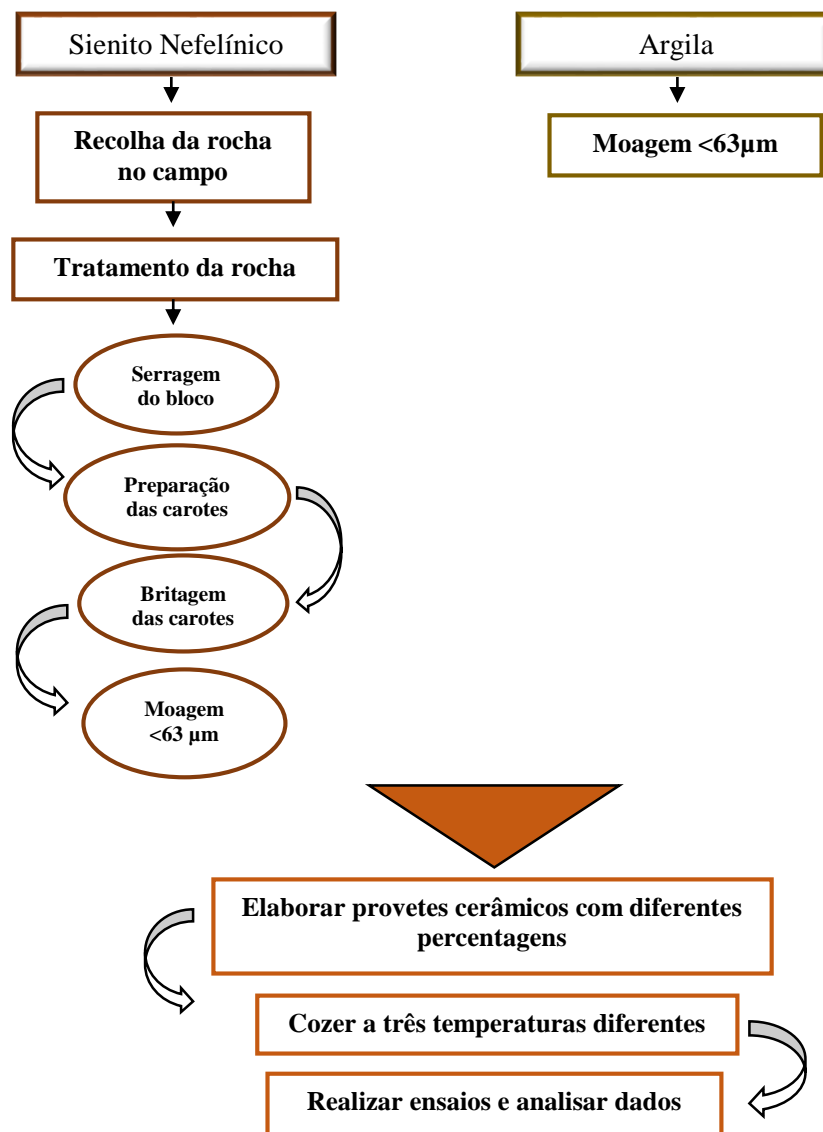


Figura 4.1 – Fluxograma do procedimento laboratorial.

4.1. Trabalho de laboratório

Para uma melhor compreensão do capítulo 5, importa esclarecer como se desenvolveu a vertente prática desta dissertação. A base da investigação laboratorial focou-se, essencialmente, na elaboração dos provetes cerâmicos. Antes de mais, importa referir que estes foram realizados manualmente, com a ajuda duma prensa, tornando-se, por vezes difícil, garantir uma homogeneidade nos 150 provetes realizados. Para garantir o máximo de rigor possível na elaboração dos provetes cerâmicos, a prensagem foi efetuada a uma força constante de 200 kg.

Os provetes cerâmicos consistem na mistura de sienito nefelínico, argila e água destilada. A quantidade de água destilada utilizada, varia com as percentagens de sienito e argila utilizadas, tendo esta sido calculada com base nos limites de *Atterberg*, previamente determinados.

A tabela 4.1 resume o planeamento laboratorial antecedente à realização dos ensaios efetuados.

Tabela 4.1 – Planeamento laboratorial inicial.

Provetes Cerâmicos			
Temperatura (°C)	Sienito nefelínico (%)	Argila (%)	Quantidade
900°C	60	40	15
	40	60	15
	20	80	15
	0	100	5
1000°C	60	40	15
	40	60	15
	20	80	15
	0	100	5
1100°C	60	40	15
	40	60	15
	20	80	15
	0	100	5

Para cálculo dos limites de liquidez e plasticidade utilizou-se a norma NP – 143 (1969). Realizou-se este ensaio de consistência de solos para determinar a percentagem de água a adicionar nas diferentes misturas efetuadas para elaboração dos provetes cerâmicos e, assim, garantir o máximo rigor possível.

Segundo a norma, entende-se por limite de liquidez (LL) de uma amostra de solo o teor em água correspondente a 25 pancadas, obtido por interpolação numa curva que relaciona o teor em água com o número de pancadas necessário para que os bordos inferiores do sulco aberto na amostra, colocada na concha de Casagrande, se unam numa extensão de 1cm.

Já o limite de plasticidade (LP) de uma amostra de solo corresponde à média dos teores em água com que um filamento cilíndrico, de aproximadamente 3 mm de espessura e 10 cm de comprimento, rompe através da rolagem entre a palma da mão e uma placa de vidro.

O índice de plasticidade (IP) representa o intervalo de teores em água para passar do estado semi-sólido para o estado semi-líquido. O IP obtém-se através da diferença entre os limites líquido e de plasticidade:

$$IP = LL - LP$$

Calcularam-se então os limites de liquidez para as misturas com 60%, 40% e 20% de sienito nefelínico (valores expressos nos anexos 1.a, 1.b e 1.c, respetivamente) podendo estes ser observados nos gráficos das figuras 4.2, 4.3 e 4.4.

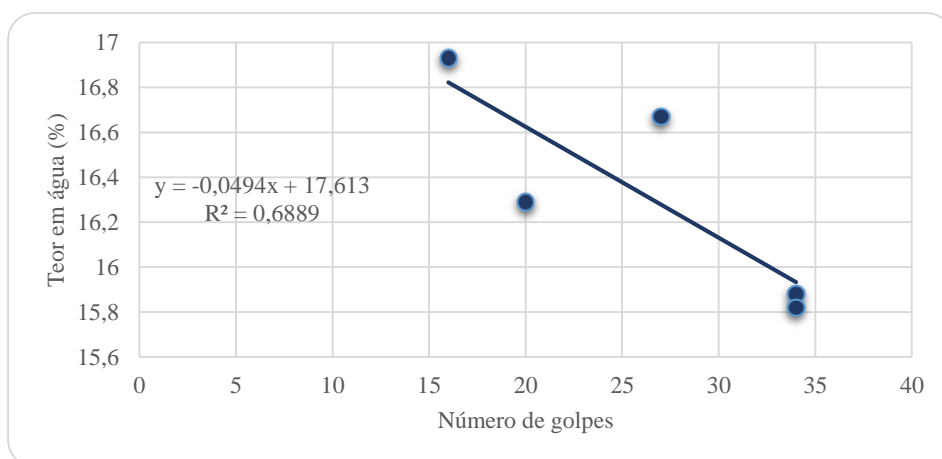


Figura 4.2 – Representação gráfica do teor em água Vs número de golpes da amostra com 60% de sienito nefelínico.

Utilizando a equação da reta da figura 4.2, o LL calculado será:

$$LL = -0,0494(25) + 17,613 \approx 16 \%$$

Nas tabelas 4.2, 4.3 e 4.4 encontram-se os valores do cálculo do limite de plasticidade para uma incorporação de 60%, 40% e 20% de sienito nefelínico, respetivamente.

Tabela 4.2 – Cálculo do limite de plasticidade para mistura com 60% sienito nefelínico.

Cápsula (Nº)	Limite Plasticidade					
	LP 1	LP 2	LP 3	LP 4	LP 5	LP 6
Cápsula (g)	8,68	9,25	8,66	8,75	8,64	7,36
Amostra Húm. + Cápsula (g)	9,52	10,72	9,83	9,87	9,56	9,05
Amostra Seca + Cápsula (g)	9,42	10,53	9,68	9,74	9,44	8,83
Amostra Húmida (g)	0,84	1,47	1,17	1,12	0,92	1,68
Amostra Seca (g)	0,74	1,27	1,02	0,98	0,80	1,47
Água (g)	0,10	0,19	0,15	0,14	0,12	0,22
Teor em Água (%)	11,83	13,17	12,68	12,06	12,65	12,83
Teor em Água Médio (%)	12,54					
Limite Plasticidade	13					

Para uma mistura com uma incorporação de 60% de sienito nefelínico de Monchique, o índice de plasticidade será:

$$IP (60\%SN) = 16 - 13 = 3$$

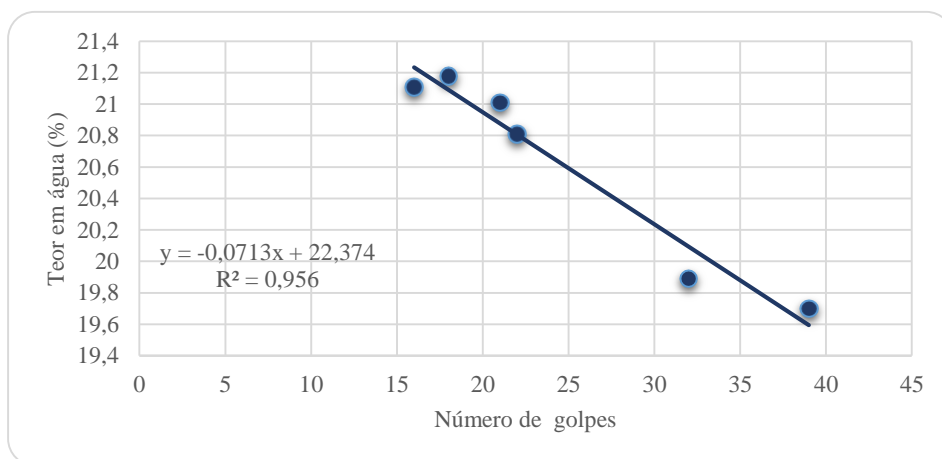


Figura 4.3 – Representação gráfica do teor em água Vs número de golpes da amostra com 40% de sienito nefelínico.

Utilizando a equação da reta da figura 4.3, o LL calculado será:

$$LL = -0,0713(25) + 22,374 \approx 21 \%$$

Tabela 4.3 - Cálculo do limite de plasticidade para mistura com 40% sienito nefelínico.

Limite Plasticidade						
Cápsula (Nº)	LP 1	LP 2	LP 3	LP 4	LP 5	LP 6
Cápsula (g)	8,48	8,65	8,66	9,25	9,27	8,75
Amostra Húm. + Cápsula (g)	9,54	9,34	9,48	9,80	10,29	9,64
Amostra Seca + Cápsula (g)	9,37	9,23	9,35	9,72	10,13	9,49
Amostra Húmida (g)	1,07	0,69	0,82	0,55	1,02	0,89
Amostra Seca (g)	0,90	0,58	0,69	0,47	0,85	0,74
Água (g)	0,17	0,11	0,13	0,08	0,17	0,15
Teor em Água (%)	15,85	16,09	15,34	14,84	16,47	16,29
Teor em Água Médio (%)	15,81					
Limite Plasticidade	16					

Para uma mistura com uma incorporação de 40% de sienito nefelínico de Monchique, o índice de plasticidade será:

$$IP (40\%SN) = 21 - 16 = 5$$

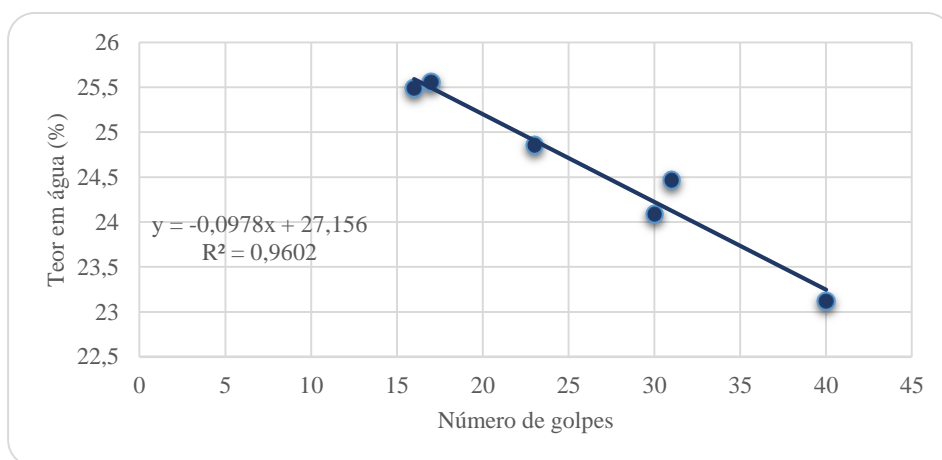


Figura 4.4 - Representação gráfica do teor em água Vs número de golpes da amostra com 20% de sienito nefelínico.

Utilizando a equação da reta da figura 4.4, o LL calculado será:

$$LL = -0,0978(25) + 27,156 \approx 25 \%$$

Tabela 4.4 - Cálculo do limite de plasticidade para mistura com 20% sienito nefelínico.

Cápsula (Nº)	Limite Plasticidade					
	LP 1	LP 2	LP 3	LP 4	LP 5	LP 6
Cápsula (g)	8,77	8,77	9,35	8,43	8,49	8,64
Amostra Húm. + Cápsula (g)	9,64	9,55	10,42	9,11	9,49	9,29
Amostra Seca + Cápsula (g)	9,47	9,41	10,22	8,99	9,29	9,20
Amostra Húmida (g)	0,88	0,78	1,07	0,68	1,00	0,64
Amostra Seca (g)	0,70	0,64	0,87	0,56	0,81	0,55
Água (g)	0,17	0,14	0,20	0,12	0,20	0,09
Teor em Água (%)	19,54	17,86	18,73	18,11	19,82	14,00
Teor em Água Médio (%)	18,01					
Limite Plasticidade	18					

Para uma mistura com uma incorporação de 20% de sienito nefelínico de Monchique, o índice de plasticidade será:

$$IP (20\%SN) = 25 - 18 = 7$$

Ao observar os resultados acima, conclui-se que o índice de plasticidade aumenta à medida que a percentagem de sienito nefelínico de Monchique diminui. Tal já era expectável, uma vez que quanto menor a quantidade de sienito adicionada à mistura, maior a quantidade de argila, consequentemente maior o número de minerais argilosos, o que se reflete no aumento da trabalhabilidade da amostra.

Segundo a carta de plasticidade (figura 4.5) conclui-se que a consistência das misturas com 40% e 20% de sienito nefelínico de Monchique está localizado na região intermediária, correspondente a um índice de plasticidade variável entre 4 e 7, classificando-se assim o solo como “*argila ou silte de baixa plasticidade*” (González de Vallejo *et al.*, 2002). Para a mistura com 60% de sienito nefelínico de Monchique e, segundo o mesmo autor, o solo é classificado como “*argila de baixa plasticidade*”. A baixa plasticidade das misturas efetuadas reflete-se na dificuldade em uniformizar a pasta de modo a garantir a homogeneidade desta. Este resultado já era esperado dada a percentagem de sienito utilizado, especialmente na situação de 60% de sienito em que a mistura era extremamente arenosa, tendo havido até dificuldades para determinar o limite de liquidez, facto que pode ser comprovado pelo valor de R^2 obtido (ver figura 4.2), pois esta ao adicionar água ficava muito líquida, mas após poucos segundos voltava a ficar espessa o que dificultava a homogeneização da mistura na concha.

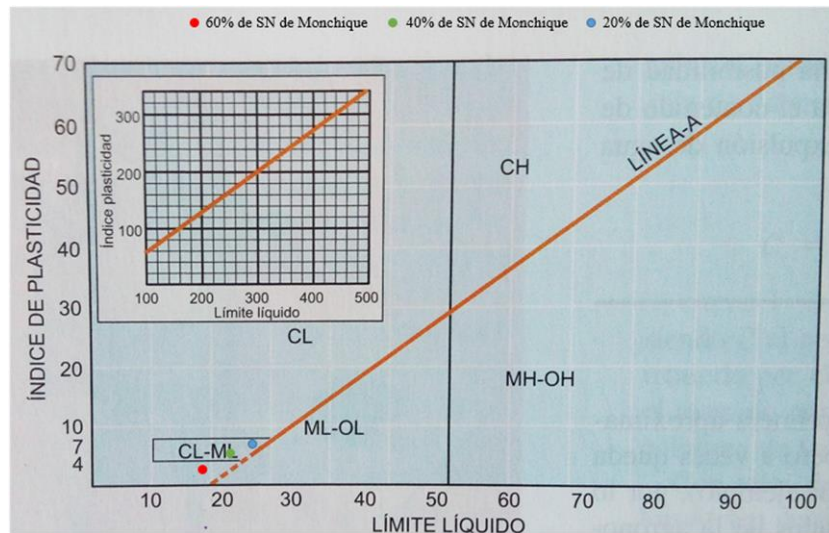


Figura 4.5 – Carta de plasticidade de Casagrande (adaptado de González de Vallejo *et al.* (2002)).

À exceção do limite de liquidez calculado para uma percentagem de 60% de sienito nefelínico, como mencionado anteriormente, o R^2 do modelo utilizado para se ajustar às amostras está bastante próximo de 1, o que permite concluir que o modelo “regressão linear” se ajusta bastante bem às amostras testadas, validando assim os resultados obtidos.

Para completar a informação acima, segue-se um diagrama com os domínios de Gippini (figura 4.6).

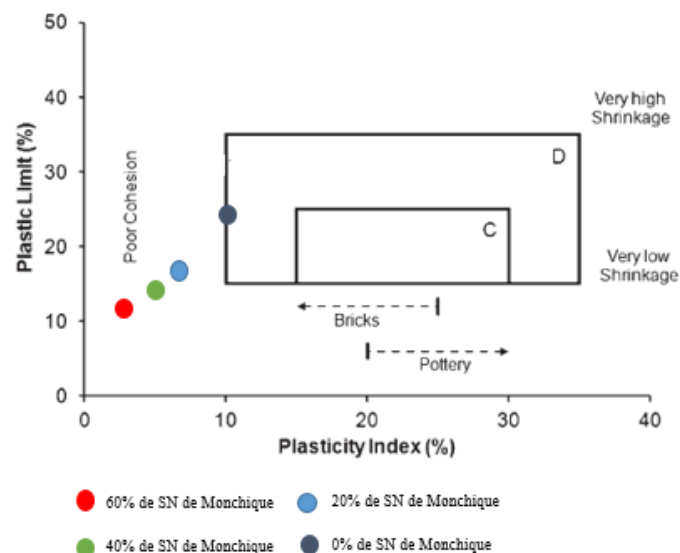


Figura 4.6 – Domínios de Gippini (adapatdo de Sena da Fonseca *et al.*, 2014).

4.1.1. Descrição dos ensaios efetuados

Os ensaios de caracterização física que se seguem foram efetuados tendo por base as seguintes normas: NP EN 1936 (2001), NP EN 13755 (2005) e ASTM C373 (2006).

- **Porosidade aberta** ($p_0(\%) = \frac{MSat - MSeca}{MSat - MHidrostat.} \times 100$)
- **Massa volúmica aparente** ($\rho_b(kg/m^3) = \frac{MSeca}{MSat - MHidrostat.} \times \rho_{h20}$)
- **Absorção de água** ($A_b(\%) = \frac{MSat - MSeca}{MSeca} \times 100$)

Após a obtenção dos 150 provetes, utilizaram-se 105 para realizar os ensaios de caracterização física. Começou-se por pesar os provetes secos, após saírem do forno e permanecerem aproximadamente uma hora no exsiccador para ficarem à temperatura ambiente. De seguida colocaram-se os provetes numa autoclave, submersos em água destilada, os quais estiveram uma hora com a água em ebulição, mais três horas até esta atingir a temperatura ambiente, garantindo assim a total saturação dos provetes. Por fim estes foram pesados, primeiro numa balança hidrostática para obtenção do peso hidrostático ou imerso, necessário para determinação da porosidade aberta e da massa volúmica aparente e de seguida efetuou-se a pesagem para obtenção do peso saturado.

Para uma correta caracterização tecnológica dos provetes cerâmicos avaliou-se ainda a resistência à flexão sob carga centrada em 105 provetes, segundo a norma NP EN 12372 (2001), tendo os restantes 45 provetes sido utilizados para o ensaio de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino, segundo a norma NP EN 14147 (2007).

No ensaio de resistência à flexão sob carga centrada, utilizou-se uma prensa (figura 4.7), para comprimir o provete a uma velocidade de 0,5 mm/min e assim determinar o carregamento máximo que o provete suporta.

O ensaio de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino é um ensaio demorado, motivo pelo qual não se conseguiram obter ainda todos os dados. Segundo a norma os provetes devem ser colocados numa câmara de nevoeiro salino (figura 4.8), capaz de os submeter a ciclos de nevoeiro durante 4 horas e ciclos de secagem durante 8 horas, perfazendo um total de 12 horas que corresponde a um ciclo, simulando assim um ambiente costeiro.

O ensaio consiste em 60 ciclos, embora possa ser dado por concluído quando dois ou mais provetes racham ou se desintegram. Para este ensaio utilizaram-se 45 provetes, correspondentes a 5 dos 15 que foram efetuados para cada mistura a cada temperatura, excluindo-se os provetes somente constituídos por argila.

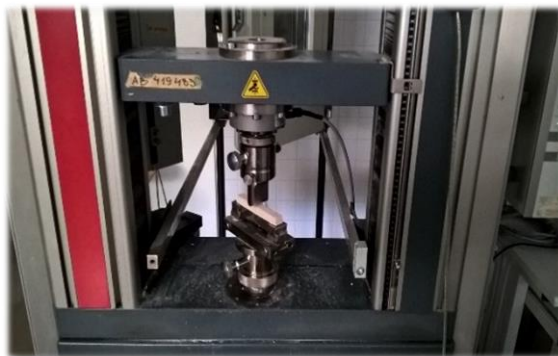


Figura 4.7 – Prensa para realização do ensaio resistência à flexão sob carga centrada.



Figura 4.8 – Em cima, aspeto exterior da câmara de nevoeiro salino; em baixo provetes cerâmicos no interior da câmara.

O ensaio de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino é essencial quando se pretende determinar a resistência de materiais sujeitos a ambientes costeiros, desta forma, e apesar dos ciclos de nevoeiro salino determinados pela norma NP EN 14147 (2007) terem terminado sem que existisse qualquer alteração externa visível nos provetes, optou-se por dar continuidade ao ensaio até que estes revelassem algum tipo de alteração.

Para caracterização da cor utilizou-se um colorímetro da marca Minolta, modelo CR-400 e, uma pequena amostra dos 105 provetes. Foi escolhido um exemplar de cada mistura, a cada uma das três temperaturas de queima, perfazendo um total de 12 provetes. Sujeitou-se cada um deles ao iluminante D65, luz emitida pelo colorímetro, responsável por simular a luz do meio-dia.

O sistema utilizado e recomendado pelo CIE foi o CIELAB. Neste sistema a definição da cor é baseada em valores representados através das coordenadas X, Y e Z, posteriormente o sistema converte estes valores num espaço uniforme de cores para as coordenadas L^* , a^* e b^* , em que L^* representa a luminosidade, ou seja, define a cor como sendo mais escura ou clara, variando numa escala de 0 a 100, e representando o percurso do espaço da cor desde o preto ao branco; a^* e b^* representam eixos de cromaticidade, variando cada uma delas entre $[-120;120]$. Enquanto a coordenada a^* varia entre o verde, valores negativos, ao vermelho, valores positivos e, representa a tonalidade da cor, a coordenada b^* , representa a variação de azul, valores negativos e amarelo, valores positivos e, define a intensidade ou pureza da cor (ver figura 4.9) (Machado *et al.*, 1997).

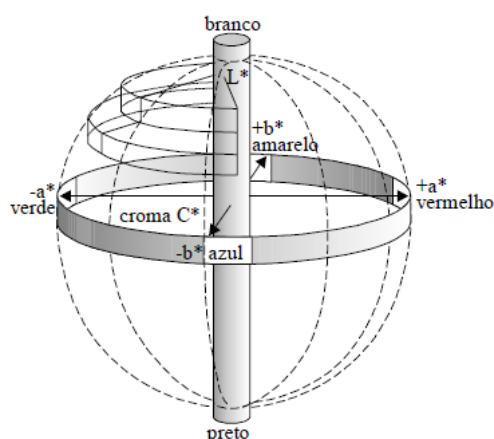


Figura 4.9– Diagrama do sólido de cor no espaço $L^* a^* b^*$
(retirado de Machado *et al.*, 1997).

Ainda, segundo os mesmos autores, uma cor em qualquer um dos planos $a^* b^*$ também pode ser descrita em termos de cromaticidade C^* , correspondendo à distância da sua coordenada (a,b) e do seu ângulo de tonalidade, h° , medido em graus numa escala de 0 a -360° seguindo o sentido anti-horário a partir do eixo positivo de a^* (ver figura 4.10).

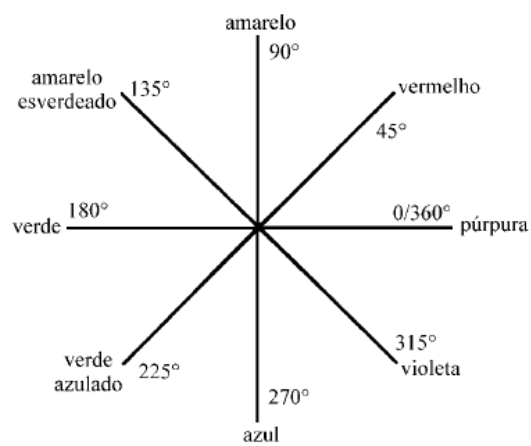


Figura 4.10 – Plano de tonalidades (retirado de Machado *et al.*, 1997).

5. Análise e Discussão dos Resultados Experimentais

Para facilitar a análise dos resultados obtidos, optou-se quase sempre por apresentar os dados em formato gráfico, estando os valores expressos nos anexos 2, 3 e 4. Os resultados a seguir apresentados representam a média dos valores obtidos em cada um dos ensaios, para as diferentes temperaturas estudadas.

Para além dos ensaios mencionados no capítulo anterior, fizeram-se duas análises distintas nos provetes cerâmicos.

A primeira análise consiste na retração dos provetes, em função da percentagem de sienito nefelínico de Monchique incorporada e da temperatura de queima a que foram sujeitos. Esta foi obtida através da diferença percentual entre a retração verde-seco (retração medida após provetes secarem 48h na estufa a 60 °C) e retração seco-cozido (retração obtida após queima) (ver figura 5.1).

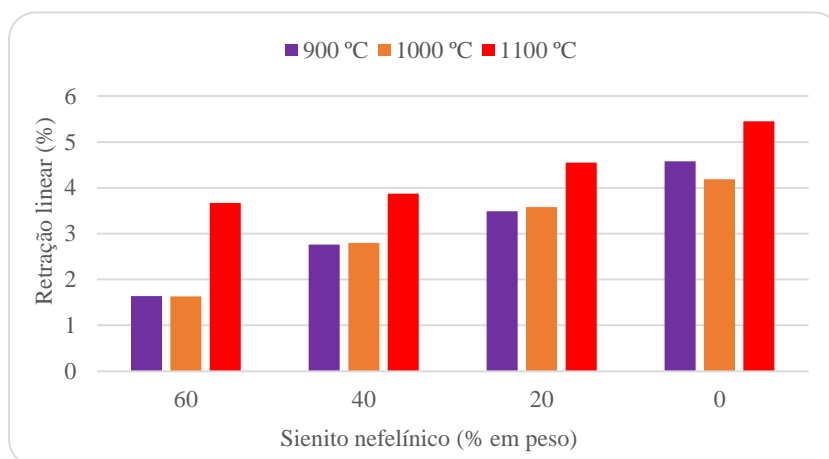


Figura 5.1 – Retração dos provetes cerâmicos em função da temperatura de queima.

Observando o gráfico da figura 5.1 é perceptível a correlação existente entre a percentagem em peso de sienito nefelínico e a retração ocorrida. À medida que aumenta a percentagem de sienito nefelínico, a retração dos provetes cerâmicos diminui.

Para 900 °C e 1000 °C, as temperaturas mais baixas estudadas, a percentagem de retração é praticamente a mesma, variando apenas com a adição de sienito nefelínico à mistura, podendo tal ser explicado pela presença de minerais fundentes no sienito nefelínico, já que a tendência é para a retração diminuir à medida que aumenta a percentagem de sienito nefelínico adicionada.

É de notar ainda a tendência para a retração ser sempre superior na temperatura de 1100 °C, relativamente às outras duas temperaturas estudadas. Tal facto pode ser explicado pelo tempo a que os provetes estiveram sujeitos a temperaturas elevadas.

Os patamares definidos no forno foram os mesmos, duas horas para atingir 520 °C, por esta ser uma temperatura sensível em que ocorre a expansão do quartzo alfa para o quartzo beta e, de seguida, gradualmente, a temperatura aumenta até ao patamar estabelecido, 900 °C, 1000 °C ou 1100 °C, permanecendo no patamar durante um hora, arrefecendo gradualmente até à temperatura ambiente. Para uma temperatura de 1100 °C o tempo de arrefecimento é muito superior às outras duas temperaturas, permitindo assim a ocorrência de reações, quer físicas quer químicas, provocando uma maior contração do volume do corpo cerâmico.

Para 1100 °C existe ainda a possibilidade de ocorrência de vitrificação, contribuindo assim para um aumento da retração nesta temperatura. Contudo à vista desarmada não é possível detetar sinais vítreos nos provetes.

A segunda análise diz respeito à massa percentual perdida, em função da percentagem de sienito nefelínico adicionada e, da temperatura de queima a que foram sujeitos os provetes. Esta resulta da diferença de massas, antes da queima (após 48h na estufa a 60 °C) e após queima.

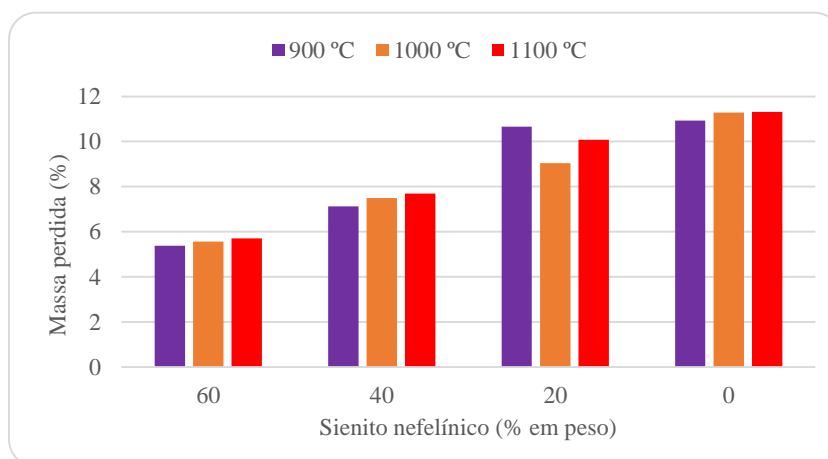


Figura 5.2 – Massa percentual perdida em função da temperatura de queima.

Após analisar a figura 5.2, conclui-se que a massa percentual perdida varia somente em função da proporção existente entre o sienito nefelínico e a argila. Verifica-se uma tendência decrescente à medida que aumenta a incorporação de sienito nefelínico. Tal facto pode ser explicado pela diminuição da presença de minerais argilosos, à medida que aumenta a percentagem de sienito. Dada a alta capacidade de alguns minerais argilosos incorporarem água no seu interior (água intercrystalina), é expectável que a massa percentual perdida seja superior em amostras com maior teor de argila, quando sujeitas a temperaturas de queima, relativamente a amostras com menor teor da mesma.

Para uma correta caracterização física dos provetes cerâmicos efetuados, determinou-se a porosidade aberta, absorção de água e massa volúmica aparente.

Ao observar as figuras que se seguem, é possível identificar uma correlação entre estas três propriedades. Relativamente à porosidade aberta (ver figura 5.3), existe uma tendência para esta diminuir à medida que aumenta a incorporação de sienito nefelínico.

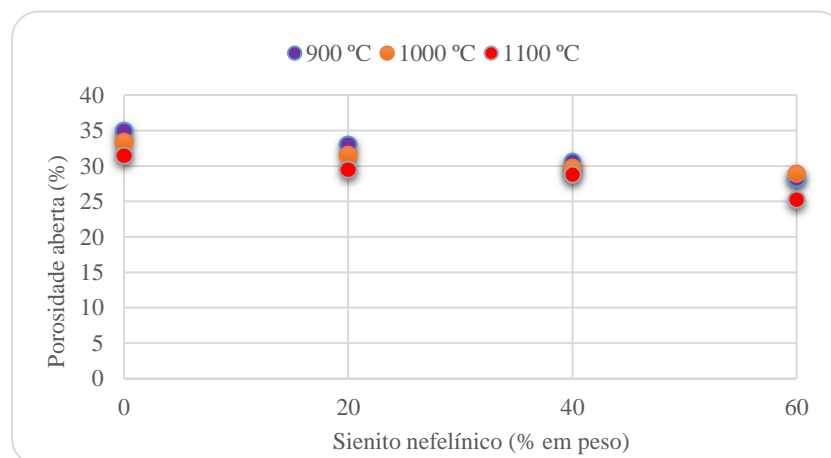


Figura 5.3 – Evolução da porosidade aberta em função da temperatura de queima.

Consequentemente, a absorção de água é menor com a adição de sienito nefelínico para todas as temperaturas estudadas (ver figura 5.4).

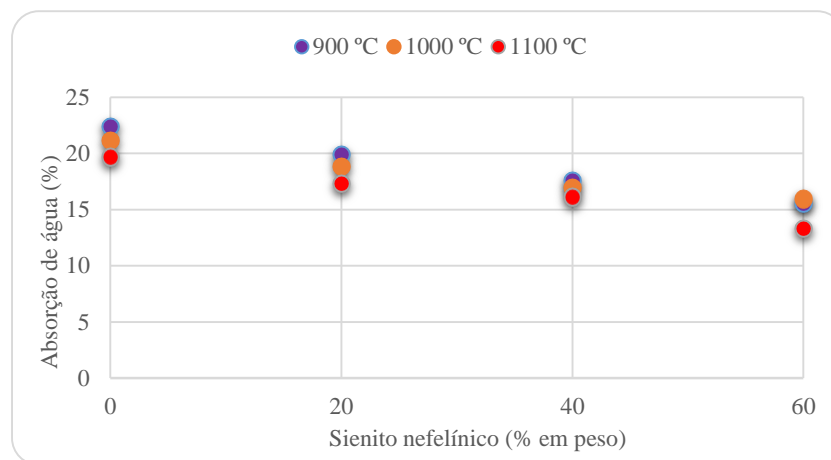


Figura 5.4 – Evolução da absorção de água em função da temperatura de queima.

Relativamente à massa volúmica aparente e na sequência das propriedades acima analisadas, a adição de sienito nefelínico possibilita um aumento da massa volúmica aparente (ver figura 5.5). Como mencionado anteriormente, durante o período de cozedura dos provetes dá-se uma redução da porosidade e compactação das partículas originando uma densificação dos mesmos.

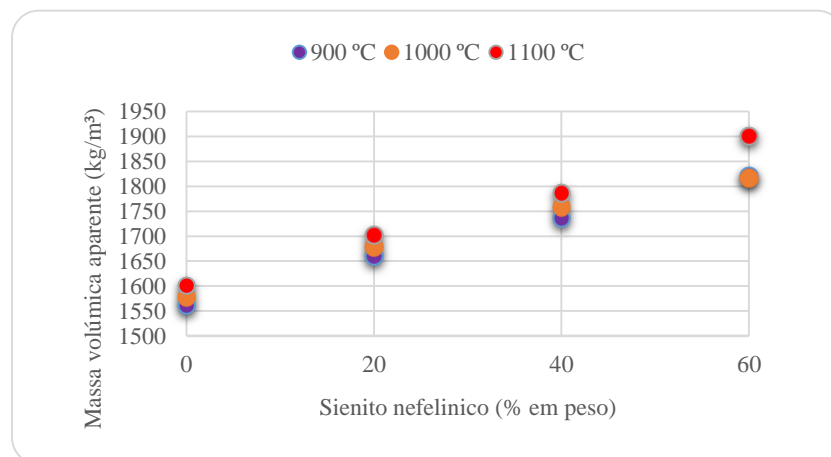


Figura 5.5 – Massa volúmica aparente dos provetes cerâmicos em função da temperatura de queima.

O aumento da massa volúmica aparente, pode trazer vantagens no sentido de facilitar as reações de sinterização durante a etapa de queima e de reduzir a retração (Moreno *et al.*, 2009; Teixeira *et al.*, 2011). Contudo, um maior empacotamento das partículas pode dificultar a saída de gases durante o estágio inicial de queima acarretando problemas nas peças (Teixeira *et al.*, 2011).

Em suma, pode-se concluir que, de uma forma geral, a adição de sienito nefelínico origina uma melhoria significativa nas propriedades físicas do corpo cerâmico. Isto deve-se à presença de minerais fundentes no sienito nefelínico, responsáveis pela redução da porosidade durante a cozedura e uma consequente diminuição na absorção de água.

Gomes (2002) considera como cerâmicos porosos aqueles que apresentem uma absorção de água compreendida entre 10%-20%, variando o seu campo de aplicação consoante o revestimento (vidrado ou não) e a coloração das pastas (corada ou branca).

Tendo em consideração os resultados obtidos para absorção de água, variável entre aproximadamente 15% para uma incorporação de 60% em peso de sienito nefelínico de Monchique, e uma absorção máxima de 20% para uma adição de 20% em peso do mesmo Gomes (2002) sugere como campo de aplicação com um revestimento vidrado “pavimentos e revestimentos cerâmicos”.

A figura que se segue (ver figura 5.6) apresenta graficamente os resultados obtidos no ensaio de resistência à flexão sob carga centrada, em função da temperatura de queima. Pode-se observar que, apenas com a quantidade mínima estudada de 20% existe um aumento, ainda que ligeiro, para as temperaturas de 900 °C e 1100 °C quando comparados com os resultados obtidos para a argila pura.

Apesar dos valores obtidos neste ensaio não serem os mais satisfatórios, é de grande importância ter em consideração o modo como os provetes foram efetuados, manualmente e com recurso a uma prensa. Desta forma, torna-se difícil garantir homogeneidade nos provetes em estudo, e a falta desta, influencia em muito o comportamento que estes desempenham quando sujeitos a uma carga central.

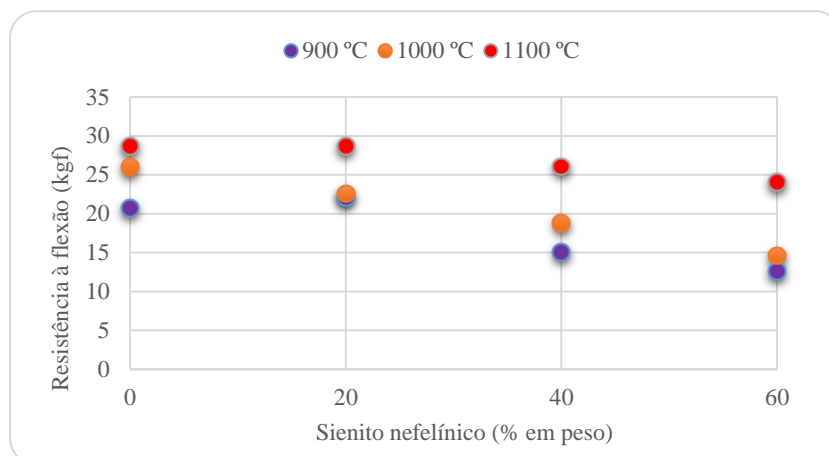


Figura 5.6 – Evolução da resistência à flexão em função da temperatura de queima.

Teoricamente, se a porosidade dos provetes diminui com a adição de sienito nefelínico de Monchique, e consequentemente diminui a absorção de água, era expectável que ocorresse um aumento da resistência mecânica à medida que o teor de sienito aumenta. Teixeira *et al.* (2011), após analisar os resultados do estudo baseado no efeito da temperatura de queima em misturas constituídas por sienito nefelínico e argila caulínica, conclui que a incorporação de sienito melhorou a resistência mecânica para temperaturas de 1100 °C, 1150 °C e 1200 °C. Sendo este um caso de estudo tão semelhante ao aqui analisado, é de ter em consideração o método de elaboração dos provetes que, provavelmente, contribuiu para os resultados obtidos neste ensaio e, também, as temperaturas testadas, já que a partir dos 1150 °C existe um aumento exponencial da resistência mecânica.

O último ensaio efetuado foi o de colorimetria, constando os resultados na tabela 5.1. Em termos de luminosidade, L^* , os provetes cerâmicos compostos somente por argila apresentaram a mesma luminosidade em todas as temperaturas de queima, sendo esta uma luminosidade muito próxima do branco.

Quanto aos restantes provetes, para as temperaturas de 900 °C e 1000°C, a luminosidade é muito semelhante e próxima do branco, para a temperatura máxima testada, 1100 °C, e sobretudo nas misturas com 60% e 40% de sienito nefelínico, a luminosidade diminui.

Tabela 5.1 – Resultados do ensaio colorimetria, sistema CIELAB.

Colorimetria					
Temperatura	Coordenadas	60% SN	40% SN	20% SN	0% SN
900 °C	L*	81	84	86	87
	a*	4	4	4	4
	b*	12	11	12	13
1000 °C	L*	81	84	87	88
	a*	4	3	3	3
	b*	11	10	9	10
1100 °C	L*	69	79	83	88
	a*	3	2	2	1
	b*	11	9	12	12

Relativamente à tonalidade e saturação, representadas pelas coordenadas a^* e b^* , respetivamente, os provetes tendem a variar a tonalidade de rosa claro a bege, à medida que a temperatura de cozimento aumenta. Apesar de existir uma tendência para os provetes cerâmicos com 60% de sienito nefelínico serem mais escuros, devido provavelmente à percentagem de óxidos de ferro presentes (Dutra *et al.*, 2009), apenas a 1100 °C existe um notável destaque dos restantes provetes, aproximando-se dos tons acastanhados (ver figura 5.7).

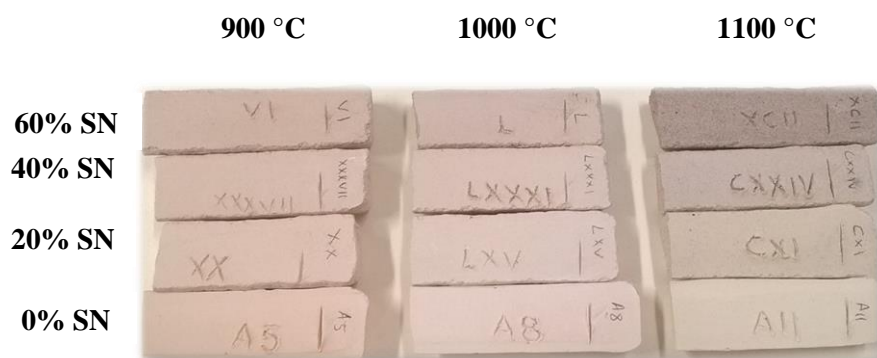


Figura 5.7 – Luminosidade e tonalidade dos provetes cerâmicos nas três temperaturas estudadas.

Ao observar a tabela 5.1, nomeadamente os valores respeitantes à saturação, conclui-se que esta é muito semelhante para todas as incorporações de sienito nefelínico de Monchique e para todas as temperaturas estudadas, podendo-se identificar um ligeiro aumento de pureza da cor para os corpos cerâmicos sujeitos a uma temperatura de queima de 900 °C.

Sabe-se que na indústria cerâmica a alteração cromática resultante da etapa de queima, é um fator decisivo no tipo de aplicações futuras. Quanto mais branca a tonalidade, maior o número de aplicações vidradas, tornando-se mais fácil conjugar as diferentes cores pretendidas.

Do estudo colorimétrico efetuado, os resultados foram bastante satisfatórios, apesar de existir uma tendência para aumentar a tonalidade à medida que aumenta a incorporação de sienito nefelínico. À exceção do teor de 60% de sienito a 1100 °C, não existiu grande variação de tons quando comparada com os provetes puros (somente constituídos por argila), o que permite concluir que a sua utilização seria aceitável neste sector industrial.

6. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

O objetivo primordial deste trabalho foi testar o potencial do sienito nefelínico de Monchique na indústria cerâmica, à semelhança do que ocorre em outros países, aumentando assim os campos de aplicação desta rocha que até ao momento são essencialmente no sector ornamental como rocha natural.

Para tal ensaiaram-se 150 provetes cerâmicos com diferentes percentagens de sienito nefelínico de Monchique e a diferentes temperaturas de queima.

Para avaliação das propriedades físicas determinaram-se as seguintes propriedades dos provetes: porosidade aberta, absorção de água e massa volúmica aparente. Tendo apenas em consideração os valores obtidos no ensaio de absorção de água, dada a correlação das três propriedades, constatou-se que esta varia entre aproximadamente 15% para uma incorporação de 60% em peso de sienito nefelínico, e 20% para uma adição de 20% em peso de sienito nefelínico, concluindo-se assim que o campo de aplicação com um revestimento vidrado é segundo Gomes (2002) “pavimentos e revestimentos cerâmicos”.

Considerando os resultados obtidos no ensaio de resistência à flexão, com valores inferiores a 40 kgf, a aplicação em pavimentos não é aconselhável (NP EN 14411, 2008), devendo esta restringir-se, apenas, ao nível do revestimento cerâmico. É importante mencionar que não foi adicionado qualquer tipo de aditivo ligante (Na_2CO_3) que pudesse consolidar os provetes, aumentando provavelmente a sua resistência quando sujeitos a esforços (Quereda *et al.*, 2011). Além disso o método utilizado para realização dos provetes não permite garantir a sua homogeneidade refletindo-se nos resultados obtidos.

Os resultados obtidos no ensaio de colorimetria foram, no geral, bastante satisfatórios. Apenas para uma incorporação de 60% de sienito nefelínico de Monchique e, para uma temperatura de queima de 1100 °C, existe uma alteração evidente de tonalidade nos provetes. Desta forma, acredita-se que o teor em ferro presente no sienito nefelínico de Monchique não inviabiliza as aplicações deste ao nível da cerâmica e, mesmo para a situação em que os provetes cerâmicos adquirem uma tonalidade mais escura que os restantes, é possível a aplicação quando a cor não é um fator decisivo.

Em suma, e conjugando os resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados, conclui-se que o teor ideal a adicionar nas pastas é de 20% em peso de sienito nefelínico de Monchique, para uma temperatura de queima de 1100 °C. Sugere-se como campo de aplicação o revestimento de interiores dado o carácter poroso dos provetes, não se aconselhando a sua aplicação em pavimentos dado o baixo valor de resistência à flexão.

Para concluir, é importante considerar que o sienito nefelínico de Monchique tem potencial suficiente para ser usado na indústria cerâmica como alternativa aos minerais atualmente utilizados, contribuindo para o aumento da valorização dos recursos portugueses.

Os teores e temperaturas utilizadas nesta dissertação foram um ponto de partida para provar o potencial do sienito nefelínico de Monchique. Sugere-se como trabalho futuro o teste de teores mais próximos, por exemplo 25%, 30% e 35% acreditando que desta forma continuará a não existir alteração da tonalidade dos cerâmicos e as propriedades físicas continuarão a ser satisfatórias. Também a temperatura deve ser investigada para outros valores, nomeadamente 1000 °C, 1100 °C e 1200 °C, acreditando que desta forma a resistência à flexão seria em muito melhorada.

Esta investigação focou-se apenas no estudo do sienito nefelínico da região de Monchique, para uma potencial utilização na indústria cerâmica, não tendo sido efetuados cálculos para estimar as reservas existentes na região. Desta forma, considera-se uma prioridade a garantia da existência de reservas suficientes para viabilizar a exploração do sienito nefelínico e, a consequente aplicação no sector industrial.

7. Referências Bibliográficas

- Aires-Barros, L. (1979) – Actividade ígnea pós-paleozóica no continente português (elementos para uma síntese crítica). *Ciências da Terra*, n.5, pp.175-214.
- Alves, P., Gomes, L.C. (2010) – Mineralização Sr-Ba tardia em cavidades de rochas filonianas subsaturadas do Maciço Alcalino de Monchique. *Sociedade Geológica de Portugal, In: VIII Congresso Nacional de Geologia*, Vol.16, n.5, pp. 1-4.
- Andrade, M., Sampaio, J., Luz, A., Buoso, A. (2005) – RMIs: Rochas e Minerais para Cerâmica de Revestimento, capítulo 27, *CETEM*, Rio de Janeiro, pp. 559-581.
- Balacó Moreira, J., Romão, M. (1983) – Matérias-primas não metálicas para o abastecimento das indústrias da cerâmica e do vidro. *Boletim de Minas*, Vol.19, n.3, pp. 3-18.
- Botelho da Costa, J. (2008) – Estudo e Classificação das Rochas por Exame Macroscópico. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 196 p.
- Carrol, D. (1970) – Rock weathering. *Plenum Press, New York*, 203p.
- Carvalho, A. (2002) – Introdução ao Estudo do Magmatismo e das Rochas Magmáticas. Âncora Editora, 436 p.
- Coelho, A.V.P. (1963) – Os sienitos nefelínicos, possível matéria-prima da indústria do alumínio em Portugal. *Bol. Soc. Geol. Portugal*, Vol. XX (III), pp. 167-214.
- Coelho, A.V.P. (1965) – Utilização dos sienitos nefelínicos na indústria cerâmica. *Estudos Notas e Trabalhos, S.F.M.*, Vol. XVII, fasc. 1-2, pp. 339-351.
- Coelho, A.V.P. (1974) – Tectónica comum na génese dos maciços de Sintra, Sines e Monchique. *Bol. Soc. Geol. Portugal*, Vol. XIX, fasc. 1-3, pp. 82-89.
- Coelho, A.V.P. (1977a) – O problema da extracção do alumínio a partir dos sienitos nefelínicos. *Ciências da Terra*, n.3, pp. 23-31.

Coelho, A.V.P. (1977b) – I. Rochas eruptivas da orla sedimentar do Barlavento Algarvio. II. Ensaio de interpretação da génese do Maciço de Monchique. *Bol. Soc. Geol. Portugal*, Vol. XX, fasc. III, pp. 168-214.

Dutra, R., Varela, M., Nascimento, R., Gomes, U., Martinelli, A., Paskocimas, C. (2009) – Estudo comparativo da queima rápida com a queima tradicional nas propriedades de materiais cerâmicos de base argilosa. *Cerâmica* 55, Natal, pp. 100-105.

Gomes, C. (2002) – Argilas, aplicações na indústria. O Liberal, Empresa de Artes Gráficas, Lda., 337 p.

González-Clavijo, E., Valadares, V. (2003a) - A estrutura do complexo de Monchique. *In: VI Congresso Nacional de Geologia, Fac. Ciências e Tecnologia, UNL, Caparica*, pp. C37-C40.

González-Clavijo, E., Valadares, V. (2003b) – O Maciço Alcalino de Monchique (SW Português): estrutura e modelo de instalação na crosta superior. *Com. Inst. Geol e Min.*, 90, pp. 43-64.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002) – Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid, 744p.

Hall, A. (1996) – Igneous Petrology. Longman House, England, 551 p.

Hess, P.C (1989) – Origins of igneous rocks. Harvard University Press, England, 336 p.

Kaiser, E. (1968) – O lacólito de sienito eleolítico da serra de Monchique, no sul de Portugal. Centro de Estudos de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa, 35 p. Tradução do artigo Der Eläolithsyenitlakkolith der Serra de Monchique im südlichen Portugal, *Neuen Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Beilage-Band XXXIX*, Seite 225-267, Stuttgart, 1914.

Kendall, T. (1993) – Feldspar and nepheline syenite – the alumina providers. *In Raw Materials for Glass & Ceramics Industries*. IM Glass & Ceramic Survey.

Klein, C., Hurlbut, jr. (1998) – Manual of Mineralogy. John Wiley & Sons, 681 p.

Kullberg, M.C. (1996) – Estudos tectónicos e fotogeológicos nas Serras de Sintra e Arrábida, Lisboa, pp. 1-31.

Kullberg, J.C., Kullberg, M.C. (2000) – Tectónica da região de Sintra. *In* Tectónica das regiões de Sintra e Arrábida, *Mem. Geociências, Museu Nac. Hist. Nat. Universidade de Lisboa*, n.2, pp. 1-34.

Loughnan, F.C. (1969) – Chemical Weathering of the Silicate Minerals. *American Elsevier Publishing Company, Inc.*, New York, 154p.

Machado, P.P., Hotza, D., Petter, C., Bergmann, C.P. (1997) – Controlo de Qualidade para Revestimentos Cerâmicos Através da Análise Colorimétrica de Superfície Vidrada Monocromática. *Cerâmica Industrial*, 2 (3/4), pp.51-54.

Macintyre, R.M., Berger, G.W. (1982) – A note on the geochronology of the Iberian alkaline province. *Lithos*, 15, pp. 133-136.

McLemore, V.T. (2006) - Nepheline Syenite. *In* Kogel, J.E., Trivedi, N.C., Barker, J.M., Krukowsk, S.T. - *Industrial Mineral and Rocks. Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.* Littleton, Colorado, pp.653-670.

Moreno, M.M.T., Bartolomeu, D., Lima, R.H.C. (2009) – Análise do comportamento de queima de argilas e formulações para revestimento cerâmico. *Cerâmica* 55, Rio Claro, pp. 286-295.

Moura, A. (2000) – Granitos e Rochas Similares de Portugal. *Publ. do Instituto Geológico e Mineiro. Marca-Artes Gráficas*, Porto, 179 p.

Moura, A., Velho, J.L. (2011) – Recursos Geológicos de Portugal. Editora Palimage, 571 p.

Negm, A. T., Abouzeid, A. Z., Boulos, T., Ahmed, H. (2000) – Nepheline Syenite processing for glass and ceramic industries. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 34, pp. 5-16.

Oliveira, J.T., Horn, M., Paproth, E. (1979) – Preliminary note on the stratigraphy of the Baixo Alentejo Flysch Group, Carboniferous of Portugal, and on the paleogeographic development compared to corresponding units in northwest Germany. *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 65: pp. 151-168.

Oliveira, J.T. (coord.) (1984) – Carta geológica de Portugal, à escala 1/200000. Notícia explicativa da folha 7. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa.

Quereda, F., Sánchez, E., García-Tem, J., Gozalbo, A., Beltrán, V., Sánchez, J., Sales, J. (2011) – Uso de Carbonato de Sódio como Ligante em Composições de Placas Cerâmicas. *Cerâmica Industrial*, 16 (2), pp. 7-13.

Ramos, J.F., Moura, A.C., Grade, J. (1990) – Rochas ornamentais algarvias: contribuição para o seu conhecimento. *Estudos, Notas e Trabalhos, D.G.G.M.*, T.32, pp. 77-82.

Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D., Monteiro, J. H. (1979) – Introduction à la Géologie Générale du Portugal. *Serv. Geol. Port.*, 114 p.

Rock, N.M.S. (1982) – The Late Cretaceous alkaline igneous province in the Iberian Peninsula, and its tectonic significance. *Lithos*, 15, pp. 111-131.

Sampaio, J., França, S. (2002) – Obtenção de feldspatos a partir de finos de pedreira de nefelina sienito e utilização como insumo para a indústria cerâmica. *Comunicação Técnica, XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, CETEM*, Rio de Janeiro, PP. 1-8.

Sampaio, J., França, S. (2005) – Nefelina Sienito. Rochas e Minerais Industriais, capítulo 26, *CETEM*, Rio de Janeiro, pp. 545-558.

Sampaio, J., França, S., Braga, P. (2008) – Nefelina Sienito. Rochas e Minerais Industriais, capítulo 30, *CETEM*, Rio de Janeiro, pp. 664-680.

Santos, A.R. (1973) - Estudo geológico e geoquímico do Maciço de Monchique. *Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciên. Univ. Lisboa*, Vol.13, fasc.2, pp. 143-251.

Sena da Fonseca, B., Galhano, C., Seixas, D. (2015) - Technical feasibility of reusing coal combustion by-products from a thermoelectric power plant in the manufacture of fired clay bricks, *Applied Clay Science*, Vol. 104, pp. 189-195.

Sena da Fonseca, B., Vilão, A., Galhano, C., Simão, J. (2014) - Reusing coffee waste in manufacture of ceramics for construction. *Advances in Applied Ceramics*, Vol. 113 (3), pp.159-166.

Silva, Z., Simão, J. (1998) – Syenite as ornamental stone – quality and alteration. *Proceedings of the 8th International Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment*, Vancouver, Vol. IV, pp. 2897–2901.

Simão, J. (2003) – Rochas ígneas como pedra ornamental. Causas, condicionantes e mecanismos de alteração. Implicações tecnológicas. Dissertação de Doutoramento, *Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa*, 182 p.

Teixeira, K., Monteiro, S., Vieira, C. (2011) – Efeito da temperatura de queima em composição de massa para revestimento cerâmico vitrificado com argila caulinítica e nefelina sienito. *Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense*, pp. 32-37.

Terrinha, P. (1998) – Structural Geology and Tectonic Evolution of the Algarve Basin, South Portugal. PhD Thesis, *Imperial College, University of London*, 430 p.

Terrinha, P., Rocha, R., Rey, J., Cachão, M., Moura, D., Roque, C., Martins, J.; Valadares, V., Cabral, J., Azevedo, M., Barbero, L., González-Clavijo, E., Dias, R., Matias, H (2013) – A Bacia do Algarve: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. – *Geologia de Portugal: Geologia Meso-cenozóica de Portugal*. Escolar Editora, Lisboa, pp. 29 – 166.

Valadares, V. (2004) - O Complexo Alcalino de Monchique: novos dados de cartografia, geoquímica e geocronologia. Tese de Mestrado (não publicada), *Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa*, 248 p.

Velho, J.L., Gomes, C., Romariz, C. (1998) – Minerais Industriais. Geologia, Propriedades, Tratamentos, Aplicações, Especificações, Produções e Mercado. Gráfica de Coimbra, 591 p.

Velho, J.L. (2005) – Mineralogia Industrial – Princípios e Aplicações. Lidel, Lisboa-Porto, 624p.

Normas:

ASTM C373 (2006) – Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products.

NP-143 (1969) - Solos-Determinação dos Limites de consistência. LNEC, Lisboa, Portugal.

NP EN 1936 (2001) – Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta.

NP EN 12372 (2001) - Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação da resistência à flexão sob carga centrada.

NP EN 13755 (2005) – Natural stone test methods: Determination of water absorption at atmospheric pressure.

NP EN 14147 (2007) – Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino. IPQ, Portugal.

NP EN 14411 (2008) – Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Definições, classificação, características e marcação. IPQ, Portugal.

Webgrafia:

LNEG (2015) – Rochas Ornamentais Portuguesas (Catálogo informático interativo). <http://rop.ineti.pt/rop/FormProduto.php> (consultado a 12-03-15).

Rodrigues, E. (2014) – Pedreira de sienito de Monchique conquista mercados mundiais com investidores espanhóis. *In Sul Informação*: <http://www.sulinformacao.pt/2014/06/pedreira-de-sienito-de-monchique-conquista-mercados-mundiais-com-investidores-espanhois/> (consultado a 24-04-15).

DGEG (2010-2014) – Comércio internacional da indústria extractiva. Estatísticas Rápidas – Comércio Internacional. <http://www.dgeg.pt> (consultado a 9-05-15).

UN COMTRADE, United Nations Commodity Trade Statistics Database (http://data.un.org/Data.aspx?q=stone+nepheline+syenite&d=ComTrade&f=_11Code%3a26%3brtCode%3a124%2c156%2c579%2c620%2c643%2c792%3byr%3a2010%2c2011%2c2012%2c2013%2c2014%3bcmdCode%3a252930&c=2,3,4,5,7,8,9,11,12&s=_crEngNameOrderBy:asc, yr:desc, 12Code:asc&v=1) (consultado a 30-05-15)).

8. Anexos

Anexo 1 – Limites de Liquidez

Anexo 1.a – Incorporação de 60% Sienito Nefelínico de Monchique

Limite de Liquidez						
Cápsula (Nº)	LL 1	LL 2	LL 3	LL 4	LL 5	LL 6
Cápsula (g)	8,60	9,20	9,40	8,50	8,70	9,28
Amostra Húm. + Cápsula (g)	12,33	11,78	11,17	11,07	11,46	11,30
Nº de Golpes	16	20	34	27	34	25
Amostra Seca + Cápsula (g)	11,70	11,36	10,89	10,64	11,02	10,99
Amostra Húmida (g)	3,73	2,58	1,77	2,57	2,76	2,02
Amostra Seca (g)	3,10	2,16	1,49	2,14	2,32	1,71
Água (g)	0,63	0,42	0,28	0,43	0,44	0,31
Teor em Água (%)	16,93	16,29	15,88	16,67	15,82	15,35
Limite Liquidez	16					

Amostra desprezada

Anexo 1.b – Incorporação de 40% Sienito Nefelínico de Monchique

Limite de Liquidez						
Cápsula (Nº)	LL 1	LL 2	LL 3	LL 4	LL 5	LL 6
Cápsula (g)	8,75	8,69	7,36	9,39	8,64	9,27
Amostra Húm. + Cápsula (g)	9,68	10,07	9,29	11,30	11,17	11,21
Nº de Golpes	32	39	18	16	21	22
Amostra Seca + Cápsula (g)	9,49	9,80	8,88	10,90	10,64	10,81
Amostra Húmida (g)	0,93	1,38	1,92	1,91	2,53	1,94
Amostra Seca (g)	0,75	1,11	1,52	1,51	2,00	1,53
Água (g)	0,18	0,27	0,41	0,40	0,53	0,40
Teor em Água (%)	19,89	19,70	21,18	21,11	21,01	20,81
Limite Liquidez	21					

Anexo 1.c – Incorporação de 20% Sienito Nefelínico de Monchique

Cápsula (Nº)	Limite de Liquidez					
	LL 1	LL 2	LL 3	LL 4	LL 5	LL 6
Cápsula (g)	9,39	8,72	8,69	8,75	8,74	8,68
Amostra Húm. + Cápsula (g)	10,79	10,37	10,97	10,94	10,54	11,53
Nº de Golpes	40	31	17	16	23	30
Amostra Seca + Cápsula (g)	10,46	9,97	10,38	10,38	10,09	10,84
Amostra Húmida (g)	1,39	1,66	2,28	2,19	1,80	2,86
Amostra Seca (g)	1,07	1,25	1,70	1,63	1,35	2,17
Água (g)	0,32	0,40	0,59	0,56	0,45	0,69
Teor em Água (%)	23,12	24,47	25,66	25,49	24,86	24,09
Limite Liquidez	25					

Anexo 2 – Provetes cozidos a 900 °C

Anexo 2.a – Incorporação de 60% de Sienito Nefelínico de Monchique

	Provetes mistura 60% sienito nefelínico/40% argila										Média Total
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	98,02	99,08	98,63	99,23	98,54	99,05	98,62	98,85	98,87	98,86	
	98,03	98,62	98,83	99,65	98,28	99,06	98,33	99,36	98,72	98,90	
	97,97	98,33	98,16	99,79	99,08	99,03	98,57	99,12	98,85	98,89	
	98,39	98,48	98,58	99,28	98,25	98,96	98,06	98,87	98,63	98,97	
	98,23	98,89	98,63	99,34	98,56	99,11	98,59	99,17	98,77	99,11	
Média da Retração verde-seco (mm)	98,13	98,68	98,57	99,46	98,54	99,04	98,43	99,07	98,77	98,95	98,76
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	60,09	60,44	57,85	57,39	60,94	58,73	55,55	60,20	58,53	61,86	59,16
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 900°C)	97,88	97,96	98,21	98,95	98,43	98,65	98,18	98,45	98,42	98,58	
	97,96	97,99	98,24	99,06	98,28	98,53	97,70	98,83	98,18	98,80	
	97,91	98,10	98,42	99,07	98,38	98,57	97,90	98,82	98,19	98,84	
	97,75	98,00	98,07	98,75	98,61	98,56	98,01	98,48	98,38	99,01	
	97,66	97,84	98,48	98,87	98,38	98,56	97,76	98,46	98,25	98,52	
Média da Retração seco-cozido (mm)	97,83	97,98	98,28	98,94	98,42	98,57	97,91	98,61	98,28	98,75	98,36
Massa (g) (após ir ao forno a 900°C)	56,96	57,23	54,79	54,33	57,62	55,56	52,55	56,98	55,32	58,45	55,98
Largura maior/menor (mm)	19,80	20,20	20,05	19,54	19,83	20,09	19,95	20,09	19,40	20,52	19,95
	16,88	16,99	17,29	17,30	17,29	17,13	17,25	17,28	17,48	17,53	17,24
Altura (mm)	14,87	14,57	13,86	14,06	14,68	14,21	13,57	14,36	14,12	14,65	14,30

	Provetes mistura 60% sienito nefelínico/40% argila										Média Total
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Resistência à flexão (kgf)	14,30	13,24	13,47	12,07	12,25	11,93	11,16	12,62	12,45	12,59	12,61
Massa seca (kg)	0,027	0,028	0,026	0,028	0,028	0,026	0,024	0,029	0,027	0,029	
Massa saturada (kg)	0,031	0,032	0,030	0,032	0,033	0,030	0,028	0,033	0,032	0,034	
Massa hidrostática (kg)	0,016	0,017	0,016	0,017	0,017	0,016	0,014	0,017	0,017	0,018	
Porosidade aberta (%)	28,11	28,29	28,36	28,14	28,89	28,08	28,67	27,91	29,29	27,60	28,33
Absorção de água (%)	15,38	15,53	15,53	15,43	15,91	15,31	15,93	15,22	16,32	15,00	15,56
Massa vol. aparente (kg/m³)	1827,46	1821,93	1826,60	1823,54	1815,25	1833,75	1799,50	1833,33	1794,46	1839,27	1821,51

Anexo 2.b – Incorporação de 40% de Sienito Nefelínico de Monchique

	Provetes mistura 40% sienito nefelínico/60% argila										Média Total
	XXXI	XXXII	XXXIII	XXXIV	XXXV	XXXVI	XXXVII	XXXVIII	XXXIX	XL	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	97,91	97,81	97,66	97,81	97,77	97,41	98,14	97,70	98,11	97,01	
	97,80	98,13	98,05	98,10	97,91	97,44	98,07	97,47	98,00	97,53	
	98,02	98,14	97,96	98,05	97,89	97,20	98,30	97,52	98,21	97,20	
	98,10	97,75	98,14	97,61	97,90	97,11	98,05	97,73	97,90	97,38	
	98,05	97,96	97,47	97,82	97,74	97,38	98,14	97,39	98,23	97,39	
Média da Retração verde-seco (mm)	97,98	97,96	97,86	97,88	97,84	97,31	98,14	97,56	98,09	97,30	97,79
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	49,51	46,70	46,92	50,71	45,76	47,86	51,90	52,64	52,32	48,55	49,29
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 900°C)	97,17	97,22	97,13	97,24	97,27	96,98	97,94	96,81	97,50	97,02	
	97,22	97,06	97,30	97,47	97,08	97,12	97,85	97,35	97,37	96,86	
	97,39	97,08	96,96	97,35	97,39	97,16	97,51	97,21	97,54	97,09	
	97,33	97,45	97,10	97,33	97,28	97,21	97,66	97,20	97,41	96,56	
	97,63	97,16	96,75	97,09	97,40	96,89	97,50	97,14	97,39	97,00	
Média da Retração seco-cozido (mm)	97,35	97,19	97,05	97,30	97,28	97,07	97,69	97,14	97,44	96,91	97,24
Massa (g) (após ir ao forno a 900°C)	46,03	43,40	43,57	47,01	42,56	44,48	48,18	48,91	48,58	45,11	45,78
Largura maior/menor (mm)	18,99	18,57	18,61	19,36	19,49	18,82	19,47	19,15	19,22	19,15	19,08
	17,72	16,73	17,00	16,84	17,11	16,98	17,97	17,36	17,36	16,82	17,19
Altura (mm)	13,02	12,51	12,24	13,16	12,10	12,64	12,96	14,42	13,44	12,64	12,91

	Provetes mistura 40% sienito nefelínico/60% argila										Média Total
	XXXI	XXXII	XXXIII	XXXIV (*)	XXXV	XXXVI	XXXVII	XXXVIII	XXXIX	XL	
Resistência à flexão (kgf)	15,13	14,42	14,47	7,85	13,33	16,24	16,07	18,58	18,67	15,81	15,06
Massa seca (kg)	0,022	0,024	0,022	0,039	0,021	0,022	0,024	0,026	0,023	0,023	
Massa saturada (kg)	0,026	0,028	0,026	0,046	0,024	0,025	0,028	0,031	0,028	0,027	
Massa hidrostática (kg)	0,013	0,014	0,013	0,023	0,012	0,013	0,015	0,016	0,014	0,014	
Porosidade aberta (%)	31,60	30,83	31,12	30,87	30,84	29,49	29,48	29,81	30,19	31,04	30,53
Absorção de água (%)	18,40	17,78	17,98	17,86	17,84	16,87	16,87	17,09	17,28	17,91	17,59
Massa vol. aparente (kg/m³)	1717,81	1734,16	1730,49	1728,29	1728,34	1747,81	1747,48	1744,37	1747,66	1732,76	1735,92

Anexo 2.c – Incorporação de 20% de Sienito Nefelínico de Monchique

	Provetes mistura 20% sienito nefelínico/80% argila										Média Total
	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	XXIV (*)	XXV	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	97,24	96,69	97,60	97,00	96,96	97,16	97,23	97,05	97,52	97,29	
	97,07	96,94	97,84	96,96	96,72	96,92	97,12	96,73	97,48	97,61	
	97,05	97,02	97,56	96,77	96,67	97,00	97,53	96,83	97,66	97,13	
	97,40	97,06	97,37	97,02	97,11	96,94	97,37	96,80	97,47	97,65	
	97,21	96,75	97,35	96,75	96,90	97,05	97,30	96,90	97,65	97,32	
Média da Retração verde-seco (mm)	97,19	96,89	97,54	96,90	96,87	97,01	97,31	96,86	97,56	97,40	97,15
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	51,98	50,57	49,34	49,51	52,67	51,35	49,76	60,02	45,18	47,82	50,82
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 900°C)	96,80	96,36	97,01	96,37	96,11	96,33	96,40	96,07	96,37	96,73	
	96,71	96,96	96,92	96,25	95,59	96,47	96,35	95,87	96,69	96,85	
	96,56	96,60	97,11	96,46	96,19	96,28	96,28	96,10	96,28	96,66	
	96,46	96,89	96,98	96,51	95,74	96,37	96,52	95,97	96,85	96,50	
	96,88	96,37	97,18	96,29	96,31	96,39	96,88	96,59	97,01	96,86	
Média da Retração seco-cozido (mm)	96,68	96,64	97,04	96,38	95,99	96,37	96,49	96,12	96,64	96,72	96,51
Massa (g) (após ir ao forno a 900°C)	47,44	46,11	44,97	45,10	47,97	46,72	45,38	45,58	41,15	43,57	45,40
Largura maior/menor (mm)	19,82	19,52	19,23	18,99	20,14	18,95	19,42	19,73	19,01	18,94	19,38
	17,02	16,95	16,72	16,64	17,63	17,81	17,40	17,63	17,06	17,01	17,19
Altura (mm)	13,83	13,72	12,96	12,95	13,63	13,75	13,24	13,26	12,29	13,10	13,27

	Provetes mistura 20% sienito nefelínico/80% argila										Média Total
	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	XXIV (*)	XXV	
Resistência à flexão (kgf)	21,52	22,35	22,41	24,78	23,81	21,90	22,98	23,92	16,98	20,10	22,07
Massa seca (kg)	0,026	0,023	0,021	0,023	0,025	0,026	0,020	0,021	0,020	0,021	
Massa saturada (kg)	0,031	0,027	0,025	0,027	0,030	0,031	0,024	0,025	0,024	0,025	
Massa hidrostática (kg)	0,016	0,014	0,013	0,014	0,015	0,015	0,012	0,013	0,012	0,013	
Porosidade aberta (%)	33,12	32,92	32,57	32,73	32,28	33,07	32,92	32,61	34,64	33,83	33,07
Absorção de água (%)	19,94	19,75	19,60	19,64	19,29	19,83	19,79	19,52	21,35	20,52	19,92
Massa vol. aparente (kg/m³)	1660,52	1667,06	1661,51	1666,50	1673,48	1667,78	1663,36	1671,02	1622,40	1648,86	1660,25

Anexo 2.d – Incorporação de 100% Argila

	Provetes 100% Argila					Média Total
	A1	A2	A3	A4	A5	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	95,00	96,45	96,16	96,16	96,77	
	95,06	96,19	96,02	95,96	97,10	
	95,12	95,98	96,44	95,78	96,72	
	94,95	96,41	96,00	96,05	96,66	
	94,80	96,55	96,15	95,96	97,11	
Média da Retração verde-seco (mm)	94,99	96,32	96,15	95,98	96,87	96,06
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	41,74	41,04	43,30	40,20	43,10	41,88
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 900°C)	94,40	95,69	95,47	95,16	96,07	
	94,22	96,19	95,35	95,20	96,23	
	94,44	96,35	95,44	95,14	96,17	
	94,33	95,92	95,37	95,10	96,28	
	94,41	95,70	95,36	95,17	96,26	
Média da Retração seco-cozido (mm)	94,36	95,97	95,40	95,15	96,20	95,42
Massa (g) (após ir ao forno a 900°C)	37,22	36,56	38,58	35,80	38,33	37,30
Largura maior/menor (mm)	19,06	19,52	19,92	19,84	20,54	19,78
	17,39	18,31	17,37	17,78	17,61	17,69
Altura (mm)	12,08	11,18	11,98	11,52	11,74	11,70

	Provetes 100% Argila					Média Total
	A1	A2	A3	A4	A5	
Resistência à flexão (kgf)	22,49	17,89	18,75	20,69	23,89	20,74
Massa seca (kg)	0,019	0,020	0,020	0,018	0,018	
Massa saturada (kg)	0,023	0,024	0,024	0,022	0,022	
Massa hidrostática (kg)	0,011	0,011	0,012	0,010	0,011	
Porosidade aberta (%)	35,14	34,52	35,13	34,82	35,16	34,95
Absorção de água (%)	22,65	21,99	22,48	22,23	22,65	22,40
Massa vol. aparente (kg/m³)	1551,46	1569,96	1562,58	1566,47	1552,39	1560,57

Anexo 3 – Provetes cozidos a 1000 °C

Anexo 3.a – Incorporação de 60% de Sienito Nefelínico de Monchique

	Provetes mistura 60% sienito nefelínico/40% argila										Média Total
	XLVI	XLVII	XLVIII	XLIX	L	LI	LII	LIII	LIV	LV	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	97,75	98,29	99,05	99,25	98,69	98,80	98,47	99,64	98,88	98,74	
	97,47	98,52	99,00	98,95	98,74	98,49	98,30	99,41	99,09	98,13	
	97,80	98,25	98,74	99,40	98,99	98,57	98,40	99,50	99,39	98,45	
	97,69	98,38	99,30	99,13	98,92	98,71	98,70	98,90	98,94	98,41	
Média da Retração verde-seco (mm)	97,67	98,40	98,94	99,04	98,74	98,69	98,45	99,32	99,04	98,49	98,68
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	48,58	54,16	50,90	55,45	51,62	57,70	55,74	54,80	56,94	49,95	53,58
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 1000°C)	97,11	98,18	98,44	98,67	98,80	98,62	98,05	98,84	98,65	98,34	
	97,51	98,20	98,47	98,74	98,66	98,42	98,53	98,86	98,44	97,82	
	97,32	98,21	98,85	98,57	98,53	98,49	98,52	98,85	98,41	98,15	
	97,22	98,17	98,59	98,73	98,54	98,47	98,17	98,82	98,66	98,07	
	97,49	98,29	98,41	98,65	98,69	98,66	98,08	98,74	98,58	98,03	
Média da Retração seco-cozido (mm)	97,33	98,21	98,55	98,67	98,64	98,53	98,27	98,82	98,55	98,08	98,37
Massa (g) (após ir ao forno a 1000°C)	45,88	51,12	48,12	52,42	48,80	54,49	52,54	51,75	53,73	47,17	50,60
Largura maior/menor (mm)	18,51	19,63	19,36	20,07	19,19	20,23	19,82	19,46	19,60	19,04	19,49
	17,00	17,83	17,93	18,09	17,87	17,85	17,50	17,77	17,74	17,33	17,69
Altura (mm)	12,70	13,16	12,53	13,42	13,01	15,03	13,71	13,69	13,93	12,72	13,39

	Provetes mistura 60% sienito nefelínico/40% argila										Média Total
	XLVI	XLVII	XLVIII	XLIX	L	LI	LII	LIII	LIV	LV	
Resistência à flexão (kgf)	11,39	15,33	13,05	15,53	13,82	17,81	15,59	15,04	16,10	12,85	14,65
Massa seca (kg)	0,023	0,025	0,024	0,027	0,026	0,024	0,027	0,025	0,027	0,023	
Massa saturada (kg)	0,027	0,029	0,027	0,032	0,031	0,028	0,031	0,029	0,031	0,027	
Massa hidrostática (kg)	0,014	0,015	0,015	0,017	0,016	0,015	0,017	0,015	0,016	0,014	
Porosidade aberta (%)	29,66	28,78	28,75	28,56	28,93	28,23	28,59	29,05	28,90	30,15	28,96
Absorção de água (%)	16,39	15,67	15,72	15,71	15,97	15,36	15,70	16,01	16,02	16,85	15,94
Massa vol. aparente (kg/m³)	1809,74	1836,08	1829,19	1817,64	1811,43	1837,42	1821,82	1814,03	1804,21	1789,12	1817,07

Anexo 3.b – Incorporação de 40% de Sienito Nefelínico de Monchique

	Provetes mistura 40% sienito nefelínico/60% argila										Média Total
	LXXVI	LXXVII	LXXVIII	LXXIX	LXXX	LXXXI	LXXXII	LXXXIII	LXXXIV	LXXXV	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	97,55	97,22	97,45	97,39	97,28	97,98	98,52	98,23	97,55	97,48	
	97,86	97,24	97,66	97,67	97,35	97,82	98,46	97,83	97,39	97,90	
	97,69	97,45	97,28	97,46	97,25	97,89	98,50	98,26	97,31	97,50	
	97,72	97,32	97,55	97,50	97,28	97,47	98,47	98,15	97,21	97,54	
	97,72	97,42	97,46	97,80	97,52	97,90	98,59	98,07	97,22	97,89	
Média da Retração verde-seco (mm)	97,71	97,33	97,48	97,56	97,34	97,81	98,51	98,11	97,34	97,66	97,68
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	51,09	53,37	50,79	48,01	53,33	52,11	49,41	46,39	44,87	52,58	50,19
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 1000°C)	97,25	96,82	96,83	97,28	96,88	97,20	98,04	97,62	96,86	97,01	
	97,60	96,87	97,01	97,02	96,98	97,31	97,90	97,65	97,04	96,99	
	97,05	96,94	96,84	97,43	97,09	97,17	98,10	97,77	97,05	96,90	
	97,10	96,86	96,81	97,08	96,89	97,10	97,92	97,76	96,98	96,97	
	97,26	96,93	96,91	97,32	96,94	97,24	98,06	97,66	96,76	96,73	
Média da Retração seco-cozido (mm)	97,25	96,88	96,88	97,23	96,96	97,20	98,00	97,69	96,94	96,92	97,20
Massa (g) (após ir ao forno a 1000°C)	47,40	48,60	47,09	44,46	49,35	48,32	45,82	42,98	41,57	48,75	46,43
Largura maior/menor (mm)	19,27	20,70	19,50	19,59	20,03	19,32	18,65	19,30	18,50	20,55	19,54
	17,12	17,59	17,39	16,86	17,67	17,31	17,72	17,30	16,73	17,69	17,34
Altura (mm)	12,66	12,79	13,09	11,93	13,87	13,19	12,56	11,44	11,78	12,89	12,62

	Provetes mistura 40% sienito nefelínico/60% argila										Média Total
	LXXVI	LXXVII	LXXVIII	LXXIX	LXXX	LXXXI	LXXXII	LXXXIII	LXXXIV	LXXXV	
Resistência à flexão (kgf)	19,27	19,33	19,41	16,84	24,26	20,01	18,84	15,61	15,47	19,04	18,81
Massa seca (kg)	0,025	0,025	0,023	0,023	0,024	0,025	0,023	0,021	0,021	0,025	
Massa saturada (kg)	0,030	0,029	0,027	0,027	0,028	0,029	0,027	0,024	0,025	0,030	
Massa hidrostática (kg)	0,015	0,015	0,014	0,014	0,015	0,015	0,014	0,013	0,013	0,015	
Porosidade aberta (%)	29,70	29,90	30,16	29,99	29,29	29,64	29,46	29,50	30,39	30,15	29,82
Absorção de água (%)	16,84	17,13	17,15	17,05	16,64	16,86	16,68	16,64	17,38	17,26	16,96
Massa vol. aparente (kg/m³)	1764,33	1745,61	1758,27	1759,01	1760,42	1758,44	1766,04	1773,49	1748,82	1746,20	1758,06

Anexo 3.c – Incorporação de 20% de Sienito Nefelínico de Monchique

	Provetes mistura 20% sienito nefelínico/80% argila										Média Total
	LXI	LXII	LXIII	LXIV	LXV	LXVI	LXVII	LXVIII	LXIX	LXX	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	96,44	96,62	97,13	97,16	97,96	97,41	97,46	96,85	97,46	97,30	
	96,55	97,10	97,26	96,92	98,13	97,67	97,49	96,84	97,62	97,69	
	96,71	96,82	97,19	96,94	97,80	97,49	97,43	96,74	97,35	97,55	
	96,42	97,09	96,99	96,99	97,98	97,49	97,42	96,84	97,45	97,77	
	96,45	96,89	97,09	96,88	97,82	97,69	97,45	97,02	97,45	97,68	
Média da Retração verde-seco (mm)	96,51	96,90	97,13	96,98	97,94	97,55	97,45	96,86	97,47	97,60	97,24
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	46,43	47,26	43,70	44,40	52,10	51,67	42,86	50,81	44,13	42,16	46,55
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 1000°C)	95,56	95,94	96,36	96,28	97,33	96,81	96,86	96,05	96,22	96,55	
	95,55	95,97	96,35	96,27	97,52	96,97	96,66	95,96	96,53	96,70	
	95,51	95,95	96,28	96,32	97,32	96,87	96,89	96,08	96,77	96,71	
	95,49	95,79	96,48	96,30	97,26	96,77	96,97	96,17	96,37	96,57	
	95,55	95,55	96,60	96,17	97,25	96,83	96,60	95,97	96,54	96,59	
Média da Retração seco-cozido (mm)	95,53	95,84	96,41	96,27	97,34	96,85	96,80	96,05	96,49	96,62	96,42
Massa (g) (após ir ao forno a 1000°C)	42,25	43,00	39,71	40,39	47,36	46,93	39,00	46,17	40,23	38,39	42,34
Largura maior/menor (mm)	19,38	19,47	19,70	19,23	20,81	19,98	18,57	19,63	18,74	20,58	19,61
	17,38	17,00	17,07	17,18	17,50	17,12	17,53	17,44	17,12	17,03	17,24
Altura (mm)	12,26	12,52	11,39	11,90	13,20	13,10	11,74	13,06	11,91	10,83	12,19

	Provetes mistura 20% sienito nefelínico/80% argila										Média Total
	LXI	LXII	LXIII	LXIV	LXV	LXVI	LXVII	LXVIII	LXIX	LXX	
Resistência à flexão (kgf)	24,41	25,63	22,81	22,64	25,66	21,30	20,64	24,98	20,58	17,41	22,61
Massa seca (kg)	0,022	0,021	0,020	0,019	0,024	0,023	0,020	0,026	0,020	0,020	
Massa saturada (kg)	0,027	0,025	0,024	0,022	0,028	0,028	0,024	0,031	0,024	0,024	
Massa hidrostática (kg)	0,013	0,012	0,012	0,011	0,014	0,014	0,012	0,015	0,012	0,012	
Porosidade aberta (%)	31,17	30,96	30,82	31,28	30,12	31,68	32,37	31,97	33,01	32,38	31,57
Absorção de água (%)	18,50	18,49	18,40	18,76	17,89	18,67	19,43	19,01	19,77	19,26	18,82
Massa vol. aparente (kg/m³)	1684,62	1674,22	1674,61	1667,11	1683,55	1696,46	1666,22	1681,75	1669,62	1681,04	1677,92

Anexo 3.d – Incorporação de 100% Argila

	Provetes 100% Argila					Média Total
	A6	A7	A8	A9	A10	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	96,90	95,71	96,93	96,97	96,59	
	96,63	95,87	96,89	96,82	96,55	
	96,70	95,85	97,04	97,08	96,83	
	96,83	96,22	96,82	97,00	96,89	
	96,68	96,11	96,96	97,01	96,72	
Média da Retração verde-seco (mm)	96,75	95,95	96,93	96,98	96,72	96,66
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	42,73	37,48	42,41	44,93	45,06	42,52
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 1000°C)	96,02	95,11	96,09	96,04	95,82	
	96,03	95,18	95,99	96,14	95,75	
	95,88	95,10	96,06	96,06	95,80	
	95,91	95,25	96,20	96,07	95,86	
	95,73	95,19	96,05	96,11	95,76	
Média da Retração seco-cozido (mm)	95,91	95,17	96,08	96,08	95,80	95,81
Massa (g) (após ir ao forno a 1000°C)	37,91	33,30	37,64	39,85	39,89	37,72
Largura maior/menor (mm)	19,64	20,89	19,40	19,13	19,40	19,69
	17,66	17,62	18,09	17,46	18,31	17,83
Altura (mm)	11,97	10,45	11,57	13,90	12,31	12,04

	Provetes 100% Argila					Média Total
	A6	A7	A8	A9	A10	
Resistência à flexão (kgf)	29,87	23,87	26,75	33,30	16,52	26,06
Massa seca (kg)	0,019	0,018	0,017	0,022	0,023	
Massa saturada (kg)	0,023	0,022	0,021	0,026	0,028	
Massa hidrostática (kg)	0,011	0,010	0,010	0,013	0,013	
Porosidade aberta (%)	34,16	33,57	34,39	32,28	32,40	33,36
Absorção de água (%)	21,57	21,51	21,77	20,35	20,50	21,14
Massa vol. aparente (kg/m³)	1583,65	1560,45	1579,73	1586,49	1580,48	1578,16

Anexo 4 – Provetes cozidos a 1100 °C

Anexo 4.a – Incorporação de 60% de Sienito Nefelínico de Monchique

	Provetes mistura 60% sienito nefelínico/40% argila										Média Total
	XCI	XCII	XCIII	XCIV	XCV	XCVI	XCVII	XCVIII	XCIX	C	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	98,59	98,49	98,22	98,52	98,41	98,45	98,55	98,77	98,32	98,72	
	98,71	98,66	98,58	98,39	98,39	98,31	98,58	98,76	98,40	98,48	
	98,80	98,71	98,49	98,16	98,52	98,54	98,38	98,96	98,17	98,03	
	98,61	98,40	98,35	98,36	98,32	98,22	98,60	98,65	98,20	98,18	
	98,72	98,66	98,41	98,45	98,10	98,19	98,50	98,79	98,24	98,05	
Média da Retração verde-seco (mm)	98,69	98,58	98,41	98,38	98,35	98,34	98,52	98,79	98,27	98,29	98,46
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	42,01	47,83	51,59	45,08	54,72	51,51	48,77	51,44	55,81	52,11	50,09
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 1100°C)	96,88	96,52	95,94	95,91	95,81	95,97	96,70	97,18	96,09	96,15	
	96,82	96,62	95,84	96,18	96,13	95,62	96,71	97,12	95,95	96,03	
	96,91	96,48	95,86	96,09	96,02	96,10	96,76	97,02	96,16	96,14	
	96,99	96,60	95,97	96,14	96,17	96,12	96,56	96,90	96,23	96,12	
	97,02	96,28	96,00	95,84	96,12	96,18	96,67	96,89	96,00	96,18	
Média da Retração seco-cozido (mm)	96,92	96,50	95,92	96,03	96,05	96,00	96,68	97,02	96,09	96,12	96,33
Massa (g) (após ir ao forno a 1100°C)	39,65	45,11	48,65	42,46	51,51	48,65	45,96	48,44	52,70	49,14	47,23
Largura maior/menor (mm)	18,44	18,86	18,96	19,54	19,54	19,25	19,01	19,84	20,51	18,92	19,29
	17,83	17,78	17,82	18,15	17,47	18,22	18,04	18,24	17,82	17,85	17,92
Altura (mm)	10,21	11,80	12,57	10,75	14,44	12,68	12,08	12,64	12,96	12,45	12,26

	Provetes mistura 60% sienito nefelínico/40% argila										Média Total
	XCI	XCII	XCIII	XCIV	XCV	XCVI	XCVII	XCVIII	XCIX	C	
Resistência à flexão (kgf)	14,42	23,04	26,35	16,70	30,26	24,18	23,89	26,03	30,20	26,12	24,12
Massa seca (kg)	0,021	0,020	0,022	0,020	0,026	0,022	0,022	0,025	0,026	0,023	
Massa saturada (kg)	0,024	0,022	0,025	0,023	0,029	0,025	0,025	0,029	0,029	0,026	
Massa hidrostática (kg)	0,013	0,012	0,014	0,012	0,016	0,014	0,014	0,015	0,016	0,014	
Porosidade aberta (%)	25,12	24,27	24,61	25,10	25,21	25,07	26,06	25,83	25,68	26,05	25,30
Absorção de água (%)	13,13	12,72	12,79	13,23	13,35	13,16	13,76	13,63	13,64	13,72	13,31
Massa vol. aparente (kg/m³)	1912,46	1908,12	1923,26	1896,62	1888,65	1904,68	1893,58	1895,62	1883,47	1899,22	1900,57

Anexo 4.b – Incorporação de 40% de Sienito Nefelínico de Monchique

	Provetes mistura 40% sienito nefelínico/60% argila										Média Total
	CXXI	CXXII	CXXIII	CXXIV	CXXV	CXXVI	CXXVII	CXXVIII	CXXIX	CXXX	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	97,12	98,14	97,46	97,10	97,12	97,60	98,00	97,82	96,59	98,06	
	97,26	97,81	97,92	97,46	97,26	98,06	97,47	97,99	96,61	98,01	
	97,36	98,25	97,31	97,41	97,69	97,91	98,00	98,05	96,51	98,03	
	97,62	98,44	97,43	97,15	97,27	97,95	98,01	98,18	96,65	97,88	
	97,76	98,20	97,51	97,14	97,45	98,00	98,17	98,11	96,54	98,14	
Média da Retração verde-seco (mm)	97,42	98,17	97,53	97,25	97,36	97,90	97,93	98,03	96,58	98,02	97,62
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	47,66	50,23	49,90	50,82	48,13	47,16	46,59	49,64	49,64	46,71	48,65
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 1100°C)	95,91	96,88	96,23	95,90	95,95	96,20	96,37	96,49	95,40	96,19	
	96,02	96,62	95,97	96,04	95,99	96,18	96,10	96,73	95,14	96,37	
	96,11	96,53	96,15	95,92	95,85	96,23	96,29	96,40	95,20	96,36	
	96,25	96,58	96,28	96,01	96,01	96,06	96,01	96,46	95,16	96,39	
	96,08	96,51	96,14	96,00	95,97	96,14	96,40	96,44	95,32	96,38	
Média da Retração seco-cozido (mm)	96,07	96,62	96,15	95,97	95,95	96,16	96,23	96,50	95,24	96,34	96,13
Massa (g) (após ir ao forno a 1100°C)	44,22	46,60	46,27	47,16	44,66	43,67	43,24	46,02	44,11	43,17	44,91
Largura maior/menor (mm)	19,42	19,34	19,51	18,99	18,97	19,60	18,94	19,46	19,15	18,99	19,24
	17,44	17,74	17,98	17,41	17,92	17,89	17,27	17,23	17,56	17,77	17,62
Altura (mm)	11,81	12,85	12,52	12,64	12,27	11,97	11,92	12,57	11,73	11,54	12,18

	Provetes mistura 40% sienito nefelínico/60% argila										Média Total
	CXXI	CXXII	CXXIII	CXXIV	CXXV	CXXVI	CXXVII	CXXVIII	CXXIX	CXXX	
Resistência à flexão (kgf)	26,80	30,74	28,95	25,66	25,75	24,49	25,38	28,32	24,66	20,13	26,09
Massa seca (kg)	0,021	0,023	0,022	0,022	0,023	0,022	0,021	0,019	0,023	0,022	
Massa saturada (kg)	0,024	0,027	0,025	0,026	0,026	0,025	0,025	0,022	0,026	0,025	
Massa hidrostática (kg)	0,013	0,014	0,013	0,014	0,014	0,013	0,013	0,012	0,014	0,013	
Porosidade aberta (%)	28,69	28,21	28,41	28,73	29,10	29,12	29,95	28,60	28,48	28,78	28,81
Absorção de água (%)	16,08	15,73	16,02	16,07	16,36	16,42	17,05	15,79	15,80	15,93	16,13
Massa vol. aparente (kg/m³)	1784,31	1793,61	1773,27	1787,44	1779,36	1773,28	1756,74	1810,72	1802,25	1805,83	1786,68

Anexo 4.c – Incorporação de 20% de Sienito Nefelínico de Monchique

	Provetes mistura 20% sienito nefelínico/80% argila										Média Total
	CVI	CVII	CVIII	CIX	CX	CXI	CXII	CXIII	CXIV	CXV	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	96,78	96,30	96,71	96,70	96,79	97,91	97,01	95,90	96,73	97,12	
	96,90	96,39	96,84	96,96	97,03	97,92	97,10	95,60	96,85	97,63	
	96,83	96,87	96,88	96,58	96,57	97,99	97,47	96,14	97,20	96,99	
	97,02	96,43	96,67	96,92	96,75	98,05	97,36	96,20	97,01	97,31	
	96,84	96,50	96,79	96,54	96,93	97,94	97,00	96,09	97,16	97,27	
Média da Retração verde-seco (mm)	96,87	96,50	96,78	96,74	96,81	97,96	97,19	95,99	96,99	97,26	96,91
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	45,70	43,46	48,90	47,77	45,39	49,23	49,97	41,90	47,81	43,19	46,33
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 1100°C)	95,62	95,11	95,60	95,03	95,40	96,23	95,94	94,43	95,64	95,99	
	95,67	94,93	95,53	95,24	95,32	96,17	95,76	94,19	95,51	96,00	
	95,71	95,08	95,49	95,16	95,22	96,21	95,80	94,12	95,46	95,99	
	95,60	94,95	95,63	95,13	95,43	96,22	95,82	94,17	95,60	95,58	
	95,64	95,11	95,53	95,12	95,25	96,44	95,93	94,08	95,69	96,15	
Média da Retração seco-cozido (mm)	95,65	95,04	95,56	95,14	95,32	96,25	95,85	94,20	95,58	95,94	95,45
Massa (g) (após ir ao forno a 1100°C)	41,43	39,37	44,28	43,32	41,13	44,565	45,19	37,93	43,26	39,05	41,66
Largura maior/menor (mm)	19,02	18,71	18,69	20,35	20,47	19,95	19,89	18,44	19,41	19,55	19,45
	17,57	17,47	17,42	17,46	17,53	17,19	17,49	17,58	17,70	17,18	17,46
Altura (mm)	12,04	11,65	12,73	12,53	11,32	12,39	12,55	11,34	12,45	11,44	12,04

	Provetes mistura 20% sienito nefelínico/80% argila										Média Total
	CVI	CVII	CVIII	CIX	CX	CXI	CXII	CXIII	CXIV	CXV	
Resistência à flexão (kgf)	29,26	24,41	30,09	33,94	21,30	32,31	35,43	25,29	26,66	28,66	28,73
Massa seca (kg)	0,019	0,020	0,022	0,023	0,020	0,022	0,023	0,020	0,022	0,018	
Massa saturada (kg)	0,022	0,024	0,026	0,027	0,023	0,025	0,027	0,024	0,026	0,021	
Massa hidrostática (kg)	0,011	0,012	0,013	0,014	0,012	0,013	0,013	0,012	0,013	0,011	
Porosidade aberta (%)	30,44	30,54	29,49	29,31	29,09	28,48	28,78	30,07	29,56	28,95	29,47
Absorção de água (%)	17,63	18,04	17,50	17,23	16,82	16,69	16,90	17,90	17,42	16,97	17,31
Massa vol. aparente (kg/m³)	1726,93	1692,75	1685,61	1701,81	1729,38	1706,34	1702,92	1679,63	1697,16	1705,72	1702,82

Anexo 4.d – Incorporação de 100% Argila

	Provetes 100% Argila					Média Total
	A11	A12	A13	A14	A15	
Retração verde-seco (mm) (após 48h na estufa a 60°C)	95,93	95,56	96,62	95,89	95,85	
	96,08	95,57	96,63	96,35	96,35	
	96,04	95,77	96,34	95,88	96,12	
	96,09	95,99	96,84	95,93	95,89	
	96,05	95,78	96,37	95,79	96,11	
Média da Retração verde-seco (mm)	96,04	95,73	96,56	95,97	96,06	96,07
Massa (g) (após 48h na estufa a 60°C)	36,12	42,07	42,21	37,56	38,80	39,35
Retração seco-cozido (mm) (após ir ao forno a 1100°C)	94,58	94,34	94,71	94,72	94,25	
	94,71	94,38	94,72	94,71	94,30	
	94,49	94,50	94,66	94,66	94,40	
	94,56	94,40	94,73	94,70	94,39	
	94,63	94,30	94,84	94,64	94,52	
Média da Retração seco-cozido (mm)	94,59	94,38	94,73	94,69	94,37	94,55
Massa (g) (após ir ao forno a 1100°C)	32,05	37,30	37,38	33,35	34,41	34,90
Largura maior/menor (mm)	20,87	19,73	19,28	19,06	19,38	19,66
	17,84	17,05	17,65	16,64	16,71	17,18
Altura (mm)	10,06	11,64	11,39	10,92	11,27	11,06

	Provetes 100% Argila					Média Total
	A11	A12	A13	A14	A15	
Resistência à flexão (kgf)	25,87	38,59	19,72	27,04	32,27	28,70
Massa seca (kg)	0,015	0,021	0,027	0,022	0,018	
Massa saturada (kg)	0,018	0,025	0,032	0,026	0,021	
Massa hidrostática (kg)	0,009	0,012	0,016	0,012	0,010	
Porosidade aberta (%)	32,03	32,12	30,21	31,12	31,94	31,48
Absorção de água (%)	20,21	20,04	18,71	19,62	19,78	19,67
Massa vol. aparente (kg/m³)	1584,46	1602,76	1614,92	1586,19	1614,67	1600,60